

18.124/H/03



**TUGAS AKHIR  
(KP 1701)**

**ANALISIS KARAKTERISTIK HIDRODINAMIKA  
KAPAL TIPE KATAMARAN DIBANDING MONOHULL**



RSPe  
623.812  
1rf  
a-1  
2003

Oleh :

**YUSNI IRFAN**  
**NRP. 4196 100 060**

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	9-4-2003
Terima Dari	FI
No. Agenda Prp.	217012

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2003**

## LEMBAR PENGESAHAN

# ANALISIS KARAKTERISTIK HIDRODINAMIKA KAPAL TIPE KATAMARAN DIBANDING MONOHULL

## TUGAS AKHIR

Diajukan Memenuhi Persyaratan  
Untuk Menyelesaikan Program Sarjana  
Jurusan Teknik Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. I.K.A. Pria Utama, M Sc. Ph.D  
N I P. 132 007 645

Ir. Petrus Adrianto Dewanda, MASc  
N I P. 130 325 763

## **ABSTRACT**

Every owner of ship who has considering the acquisition from the ship which they had purchased, a myriad of options exist in term of design. In this case, it would occur a different forms of ship, construction arrangement, material choosing and building method. The choice of ship's form would be a catamaran and monohull.

The purpose of this final project is to provide a framework to solve integration problem between catamaran and monohull characteristics based on technical parametric, so the comprehensive information about potential of each other could be showed. In this project, the hull design both of catamaran and monohull based on a Series-64 high-speed displacement hull form.

The final result is a software which be written in Delphi 5 programming that can be used for calculated hydrodynamics characteristics between catamaran and monohull.

The hydrodynamics aspect that would be choosing is resistance, seakeeping, and quality of stability, which represented by rolling period and angle of rolling.



## ABSTRAK

Setiap pemilik kapal yang berkeinginan untuk menginvestasikan modalnya pada sebuah kapal akan dihadapkan dengan variasi pilihan desain dari pihak galangan yang jumlahnya sangat banyak. Dalam hal ini akan terjadi perbedaan variasi format kapal, susunan konstruksi, pemilihan material dan alternatif pembangunan. Pilihan bentuk kapal tersebut bisa berupa katamaran dan kapal berbadan tunggal.

Tugas akhir ini dimaksudkan untuk memberikan kerangka kerja dalam menyelesaikan permasalahan integrasi karakteristik katamaran dibanding monohull berdasarkan parameter teknis, sehingga dapat ditunjukkan informasi yang cukup komprehensif mengenai potensi masing-masing tipe. Pada tugas akhir ini, basis dari perancangan lambung katamaran dan monohull maupun interval variabel yang digunakan adalah sesuai dengan batasan yang digunakan dalam metode pembentukan lambung kapal cepat displasemen Series-64.

Hasil akhir dari tugas ini sendiri berupa sebuah software program perhitungan karakteristik hidrodinamika berbasis bahasa Delphi 5 untuk desain kapal cepat katamaran maupun monohull, aspek hidrodinamika yang dimaksud berupa tahanan, gerakan kapal dan kualitas stabilitas yang diwakili oleh periode rolling dan sudut rolling



## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah, Tuhan Yang Maha Kuasa. Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas karunia dan hidayah-Nya, maka tugas akhir dengan judul **“ANALISIS KARAKTERISTIK HIDRODINAMIKA KAPAL TIPE KATAMARAN DIBANDING MONOHULL”** dapat penulis selesaikan.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan Pendidikan Strata-1 pada Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini banyak kekurangan akibat keterbatasan informasi, literatur, waktu dll. Namun penulis berharap dapat memberikan kontribusi dan manfaat pada dunia desain perkapalan Indonesia. Besar harapan agar penulis diberi suatu umpan balik berupa kritik dan saran menuju ke arah perbaikan dan kemajuan. Karena sesungguhnya puji-pujian hanya milik Tuhan semata.

Semoga Allah Tuhan Yang Maha Kuasa memberikan limpahan rahmat dan manfaat dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini serta dapat dicatat sebagai amal shaleh di hari kemudian.

Surabaya, Januari 2003

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis banyak mendapat bantuan dari pihak lain, baik berupa badan ataupun perorangan yang masing-masing memiliki peranan tersendiri. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. I. K A Pria Utama, MSc, PhD. dan Ir. P. Adrianto Dewanda, MSc. selaku dosen pembimbing TA, yang telah membimbing dan mengarahkan dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
2. Ir. Djauhar Manfaat, Ph.D., dan Ir. I. K A Pria Utama, MSc, PhD, selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan dan Sekretaris Jurusan Teknik Perkapalan, atas segala fasilitas yang telah diberikan selama perkuliahan maupun pengerjaan TA.
3. Ir. Sjarief Widjaja, Ph.D., selaku Dosen Wali, yang telah berperan besar dalam mengarahkan dan membantu proses akademik di Jurusan Teknik Perkapalan.
4. Seluruh Staf Pengajar (Dosen) di Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS, atas ilmu dan pengetahuannya.
5. Seluruh Staf Karyawan (Bpk. Suhdiono, Bambang, Bpk. Daud, dll) di Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS, yang membantu kelancaran kuliah.
6. Staf Ruang Baca FTK-ITS, yang membantu dan mengijinkan untuk mencari literatur yang penulis butuhkan.
7. Kepala Lab. Komputasi FTK-ITS, atas fasilitas komputer untuk penulisan Tugas Akhir ini.
8. Seluruh Mahasiswa ITS. *Pro patria dedicamus*
9. Teman-teman di Gedung W.401-402 FT. Kelautan ITS, Penghuni Gebang Lor 56F, Saudara-saudara di FORKOM LKMM TM 1998, Sahabat-sahabat di GASSNAPALA dan PATAS Adv. Team, Jamaah pengajian Nginden, Kel. Bpk. Soenarjo, Kel. Bpk. Sudirman, Kel. Bpk. Badal, Kel. Bpk. Deddy.
10. Ahlil Bait, Bpk. Alm M. Chamim, BA dan Bunda Maysaroh serta kedua adikku Hima dan Alvi.

Adalah suatu kehormatan ketika mereka ikut serta memasuki dan berpengaruh dalam bagian penting dari perjalanan hidup penulis

# DAFTAR ISI

**HALAMAN SAMPUL**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ABSTRACT**

**ABSTRAK**

**KATA PENGANTAR**

**UCAPAN TERIMA KASIH**

**DAFTAR ISI**

**DAFTAR GAMBAR**

**DAFTAR TABEL**

## **BAB I PENDAHULUAN**

I.1. Latar Belakang	I.1
I.2. Dasar Pemikiran	I.3
I.3. Tujuan dan Manfaat	I.4
I.4. Batasan Masalah	I.4
I.5. Metodologi Penelitian	I.5
I.6. Sistematika Penulisan	I.8

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

II.1. Umum	II.1
II.2. Ketergantungan Bentuk Lambung pada Rasio Kecepatan-Panjang	II.2
II.3. Monohull	II.5
II.2.1. Umum	II.5



II.4. Katamaran	II.6
II.3.1. Konsep Katamaran	II.6
II.3.2. Macam-macam Tipe Katamaran	II.8
II.5. Series-64	II.11
II.6. Tahanan	II.14
II.6.1. Pendahuluan	II.14
II.6.2. Estimasi Komponen Tahanan	II.15
II.6.3. Tahanan Pada Katamaran	II.18
II.7. Teori Dasar Gerakan Kapal	II.21
II.7.1. Pendahuluan	II.21
II.7.2. Kopel Gerakan <i>Heaving</i> dan <i>Pitching</i>	II.24
II.7.2.1 Pendekatan Dasar	II.24
II.7.2.2 Sistem Koordinat	II.25
II.7.2.3 Dasar Persamaan Gaya	II.27
II.7.2.4 Aplikasi Persamaan Gaya	II.30
II.7.2.5 Persamaan Gerak	II.32
II.7.2.6 Penyelesaian Persamaan Gerak	II.38
II.8. Interpolasi Polinomial Newton	II.40

### **BAB III PEMROGRAMAN DAN VALIDASI PROGRAM**

III.1. Umum	III.1
III.2. Tentang Pemrograman Bahasa Delphi 5	III.2
III.3. Teknik Pemrograman	III.3
III.4. Penyusunan Program Komputer	III.5
III.4.1. Penentuan Ukuran Utama Kapal	III.7

III.4.2. Karakteristik Tahanan	III.8
III.4.3. Karakteristik <i>Seakeeping</i>	III.11
III.4.4. Karakteristik Stabilitas	III.16
III.5. Panduan Penggunaan Program	III.17
III.6. Validasi Hasil Pemrograman	III.21
III.7. Analisis Hasil Validasi	III.24
<b>BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISIS PERHITUNGAN</b>	
IV.1. Hasil Perhitungan Model	IV.1
IV.2. Analisis Sensitivitas	IV.5
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	V.1
V.1. Kesimpulan	V.1
V.2. Saran	V.2
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

## DAFTAR GAMBAR

	<i>halaman</i>
1. Gambar 2.1 Pola gelombang kapal versus rasio kecepatan-panjang.....	II.3
2. Gambar. 2.2. Gambar <i>bodyplan</i> USNS. Hayes .....	II.9
3. Gambar 2.3 Bentuk body plan Series-64 dengan $C_b = 0,55$ ; $C_p = 0,63$ ; $C_x=0,873$ ; $B/T = 2$ dan $\Delta/(0,01L)^3$ .....	II.11
4. Gambar 2.4 Grafik tahanan sisa dari Series-64 dengan $C_b = 0,55$ ; untuk $B/T = 2$ dan $B/T = 3$ .....	II.13
5. Gambar 2.5. Skema komponen utama tahanan yang bekerja pada kapal.....	II.17
6. Gambar 2.6. Tipe gerakan dasar kapal .....	II.22
7. Gambar 2.7. Sistem koordinat untuk <i>strip theory</i> .....	II.25
8. Gambar 2.8 Koefisien <i>added mass</i> untuk perhitungan gerak kapal .....	II.37
9. Gambar 2.9 Rasio amplitudo ( $\bar{A}$ ) untuk perhitungan gerak kapal .....	II.38
10. Gambar 2.10. Metode interpolasi linear dengan cara segitiga sebangun.....	II.42
11. Gambar 2.11. Sketsa titik-titik penting pada saat kapal <i>monohull</i> dan katamaran mengalami oleng .....	II.47
12. Gambar 3.1 Diagram alir gambaran umum proses penyelesaian masalah....	III.5
13. Gambar 3.2. Diagram alir penentuan ukuran utama serta komponen lebar dan luas station setempat.....	III.7
14. Gambar 3.3. Diagram alir perhitungan tahanan katamaran dan <i>monohull</i> ...	III.9
15. Gambar 3.4. Diagram alir perhitungan kopel <i>heaving</i> dan <i>pitching</i> .....	III.10
16. Gambar 3.5. Diagram alir perhitungan kopel <i>heaving</i> dan <i>pitching</i> untuk <i>monohull</i> .....	III.11
17. Gambar 3.6. Diagram alir perhitungan kopel <i>heaving</i> dan <i>pitching</i> untuk katamaran .....	III.13
18. Gambar 3.7. Diagram alir perhitungan periode <i>rolling</i> dan sudut <i>rolling</i> untuk <i>monohull</i> dan katamaran .....	III.15
19. Gambar 3.8. Tampilan jendela utama yang menanyakan informasi ukuran utama kapal, data lingkungan perairan dan proses perhitungan yang diinginkan.....	III.16



20. Gambar 3.9. Tampilan <i>Tab_Sheet_Ship_Properties</i> .....	III.17
21. Gambar 3.10. Tampilan <i>Tab_Sheet_Bodyplan_offset</i> .....	III.19
22. Gambar 3.11. Tampilan <i>Tab_Sheet_Resistance</i> .....	III.19
23. Gambar 3.12. Tampilan <i>Tab_Sheet_Graphics</i> .....	III.20
24. Gambar 4.1. Analisis sensitivitas WSA untuk Cb Berubah .....	IV.5
25. Gambar 4.2. Analisis sensitivitas tahanan total untuk Cb berubah.....	IV.5
26. Gambar 4.3. Analisis sensitivitas amplitudo <i>heave</i> untuk Cb Berubah .....	IV.6
27. Gambar 4.4. Analisis sensitivitas amplitudo <i>pitch</i> untuk Cb Berubah.....	IV.6

## DAFTAR TABEL

	<i>halaman</i>
1. Tabel 2.1. Faktor $x_1$ .....	II.49
2. Tabel 2.2. Faktor $x_2$ .....	II.49
3. Tabel 2.3. Faktor $s$ .....	II.49
4. Tabel 3.1 Tabel validasi tahanan.....	III.23
5. Tabel 4.1. Variasi model lambung interval Series-64.....	IV.2
6. Tabel 4.2. Ukuran utama model katamaran dan <i>monohull</i> .....	IV.7
7. Tabel 4.3. Hasil perhitungan karakteristik katamaran dan <i>monohull</i> 1000- ton berbasis komponen kecepatan sama .....	IV.8

# *Bab I*

---

# *Pendahuluan*







# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Potensi pengembangan sistem transportasi laut yang cepat, aman, efektif dan ramah lingkungan sangat terbuka bagi sebuah negara kepulauan seperti Indonesia. Mobilitas barang dan penumpang yang melintasi laut cenderung semakin meningkat seiring dengan perkembangan dinamika perekonomian dan peningkatan penduduk.

Setiap pemilik kapal yang berkeinginan untuk menginvestasikan modalnya pada sebuah kapal akan dihadapkan dengan variasi pilihan desain dari pihak galangan yang jumlahnya sangat banyak. Dalam hal ini akan terjadi perbedaan variasi format kapal, susunan konstruksi, pemilihan material dan alternatif pembangunan. Pilihan bentuk kapal tersebut bisa berupa katamaran dan kapal berbadan tunggal. Dengan menggunakan prinsip-prinsip hidrodinamika, persyaratan kecepatan dinas dan ukuran kapal dapat membuat karakteristik *power/speed* menjadi tidak ekonomis dan *payload* yang rendah. Di sinilah peran perancang kapal dalam melakukan pemilihan konfigurasi lambung kapal yang sesuai. Pemilihan ini dapat berupa katamaran dan kapal berbadan tunggal.

Prinsip dasar desain lambung kapal menunjukkan bahwa tipe lambung displasemen merupakan tipe yang paling efisien ( $\text{hp/ton}$  displasemen paling kecil) apabila dioperasikan pada rasio kecepatan-panjang ( $\sqrt{L}$ ) kurang dari 1,3. Dalam range kecepatan ini, tahanan *wave-making* adalah kecil dan sebagian besar berat



kapal didukung oleh daya apungnya [Savitsky, dkk., 2000]. Dengan tujuan meningkatkan kecepatan secara signifikan, maka laju penambahan tahanan harus dicegah. Penggunaan bentuk lambung tipe displasemen dipandang lebih menguntungkan dari segi pemanfaatan ruang muat namun masih dalam batasan rasio *power/ speed* yang signifikan.

Pada tahun 1961, MARAD (U.S. Maritime Administration) melakukan serangkaian percobaan model pada tipe lambung displasemen yang sesuai untuk kapal cepat. Percobaan ini dilanjutkan dengan percobaan untuk Series-64 yang dilakukan oleh U.S. Navy pada 1965 [Yeh, 1965]. Kedua program tersebut telah membuktikan validitas dari teori hidrodinamika untuk kapal cepat displasemen. Pada penelitian selanjutnya, pemilihan lambung kapal cepat displasemen untuk *monohull* dapat digunakan pula untuk lambung katamaran [Insel, 1990]

Dari segi tahanan, berat konstruksi, sensitifitas perpindahan muatan, dan kemampuan *seakeeping*, inferioritas katamaran terlihat dibanding dengan *monohull* dengan displasemen dan kecepatan yang sama. Hal yang berbeda dapat ditemukan dalam konteks luas dek, stabilitas, penggunaan volume internal dan penggunaan sarat kapal, dimana katamaran memberikan potensi yang lebih bagus. Sampai saat ini, katamaran dipandang lebih inferior dibanding dengan *monohull*. Meskipun besaran gerakan *rolling* yang lebih kecil dapat ditemukan dari katamaran, namun percepatan gerakan *rolling*, gerakan *pitching* dan *heaving* sangat eksesif untuk katamaran dengan lambung normal [Bhattacharrya, 1978].

Pada akhirnya penilaian keberhasilan sebuah desain, baik katamaran maupun *monohull*, ditentukan oleh unjuk kerja hidrodinamika. Selama ini, prediksi terhadap gerakan kapal, tahanan, daya, dan stabilitas katamaran





merupakan masalah yang kompleks. Hal ini menyebabkan perancang kapal katamaran lebih sering melakukan pemilihan bentuk lambung dan dimensi kapal berdasarkan pada hasil dari pengamatan pada *monohull* dengan beberapa modifikasi. Validasi dari pendekatan ini telah dapat dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan antara lain oleh Turner dan Taplin (1968), Shimizu dan Unozawa (1977), Incecik, dkk. (1991), Matsui, dkk. (1993). Variasi desain lambung katamaran dan konfigurasinya telah diteliti namun tidak dalam hubungannya satu sama lain. Kemampuan potensi dari katamaran dibanding dengan *monohull* bila tanpa menggunakan metode dan parameter yang tepat menjadi menjadi permasalahan tersendiri.

Saat ini perkembangan metode komputasi modern telah memungkinkan perancang untuk melakukan perhitungan analitis untuk memprediksi karakteristik hidrodinamika katamaran maupun *monohull*. Meskipun metode-metode tersebut terbatas untuk bentuk konfigurasi lambung dan kondisi lingkungan pelayaran tertentu, namun metode tersebut dapat dijadikan langkah awal yang baik untuk memprediksi dan memberikan gambaran yang lebih terang tentang karakteristik hidrodinamika katamaran maupun *monohull*.

## **1.2. DASAR PEMIKIRAN**

Berangkat dari permasalahan yang ada, maka perlu kiranya untuk disusun suatu kerangka kerja dengan memanfaatkan hasil percobaan model lambung kapal cepat dan metode analitis yang sudah dikembangkan tersebut. Kerangka kerja ini harus mampu mengintegrasikan prediksi karakteristik hidrodinamika katamaran dan *monohull* dari segi tahanan, *seakeeping*, dan stabilitas ke dalam proses





penilaian sebuah desain kapal. Sebagai langkah otomatisasi perlu juga disusun sebuah perangkat lunak sekaligus memudahkan proses komparasi hidrodinamika terhadap fenomena yang timbul akibat perubahan konfigurasi desain lambung.

### **1.3. TUJUAN DAN MANFAAT**

Tugas akhir ini dimaksudkan untuk memberikan kerangka kerja dalam menyelesaikan permasalahan integrasi karakteristik katamaran dibanding *monohull* berdasarkan parameter teknis, sehingga dapat ditunjukkan informasi yang cukup komprehensif mengenai potensi masing-masing tipe.

Hasil akhir dari tugas ini sendiri berupa sebuah software program perhitungan karakteristik hidrodinamika berbasis bahasa Delphi untuk desain kapal cepat katamaran maupun *monohull*. Aspek hidrodinamika yang dimaksud berupa tahanan, gerakan kapal dan kualitas stabilitas.

Manfaat lebih jauh, dengan diketahuinya besaran aspek hidrodinamika diatas, maka perancang kapal dapat lebih akurat untuk melakukan penilaian terhadap desain katamaran maupun *monohull* dihubungkan dengan persyaratan teknis desain.

Dengan penelitian dan pengembangan lebih lanjut diharapkan dunia perkapalan Indonesia tidak canggung dan ragu lagi untuk menerapkan konsep katamaran.

### **1.4. BATASAN MASALAH**

Batasan masalah perlu dilakukan untuk mengantisipasi pelebaran masalah yang dibahas dan untuk memperoleh hasil akhir yang sesuai dengan tujuan yang

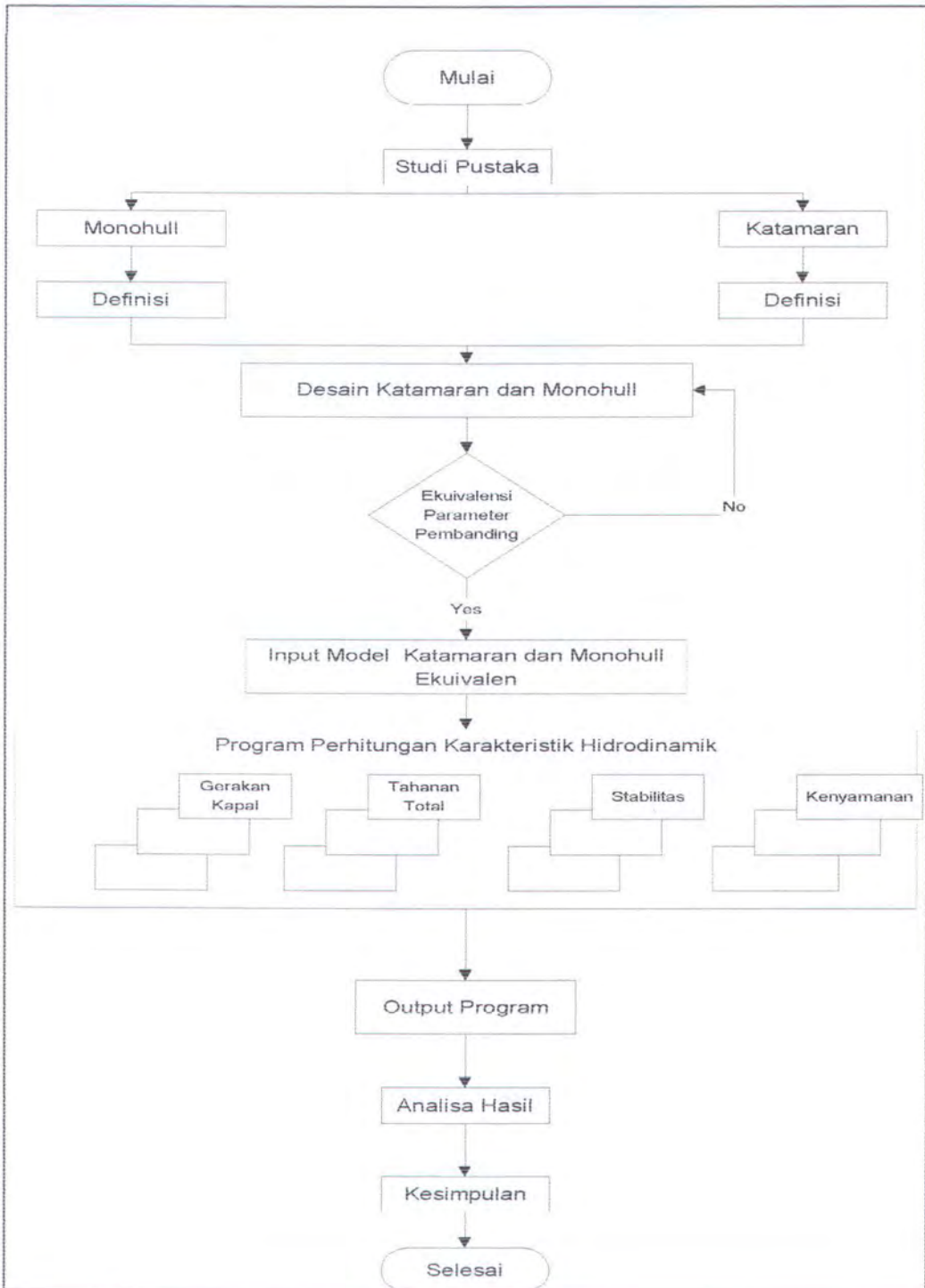


hendak dicapai. Batasan masalah yang tercantum pada bab pendahuluan ini bersifat umum, batasan masalah yang lebih mendalam akan dibahas dalam bab-bab yang terkait di dalam tugas akhir ini.

- Pembahasan teori dasar perancangan dan metode prediksi perhitungan karakteristik katamaran serta *monohull* sedapat mungkin mengacu pada metode perbandingan yang dipakai.
- Hasil akhir dari tugas akhir ini adalah sebuah perangkat lunak yang dapat melakukan proses perhitungan karakteristik hidrodinamis katamaran dan *monohull* yaitu; tahanan, stabilitas yang diwakili oleh besaran tinggi metasentra (MG), kenyamanan yang diwakili oleh periode *rolling* dan grafik prediksi gerakan kapal yang alami.
- Interval variabel yang digunakan adalah sesuai dengan batasan yang digunakan dalam metode pembentukan lambung kapal cepat dengan Series-64.
- Metode analitis perhitungan gerak kapal yang digunakan diambil metode yang mendekati hasil dari percobaan. Metode yang digunakan baik untuk katamaran maupun *monohull* berdasarkan teori strip kapal.
- Metode prediksi tahanan kapal *monohull* berdasar pada hasil percobaan tahanan untuk model Series-64. Tahanan katamaran didekati dengan menggunakan metode untuk *monohull* yang dimodifikasi berdasarkan metode Turner (1968) dan Insell (1990).
- Prediksi tinggi metasentra (MG) mengasumsikan kapal pada kondisi air tenang. Untuk katamaran, modifikasi yang dilakukan mengacu pada metode yang dikembangkan oleh Shimizu dan Unozawa (1977).

## 1.5. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah pengerjaan tugas akhir ini secara umum dapat dilihat pada diagram alir berikut:







## KETERANGAN

1. Pengumpulan Data meliputi:
  - a. Data penelitian yang berhubungan dengan perkembangan teori, konsep serta metode yang telah dikembangkan dalam mempelajari karakteristik kapal katamaran dan *monohull*.
  - b. Data penelitian mengenai karakteristik kapal cepat Series-64 baik *monohull* maupun katamaran
2. Penentuan ekuivalensi parameter pembanding. Katamaran yang digunakan dalam model analisis adalah katamaran simetris dengan lambung tipe displasemen sebagaimana halnya *monohull* yang digunakan sebagai basis perbandingan. Basis utama perbandingan adalah displasemen dan sarat yang sama
3. Pembuatan program perhitungan karakteristik hidrodinamika dari kedua tipe. Metode yang digunakan berbasis pada referensi yang tersedia.
4. Hasil perbandingan berupa resume karakteristik katamaran dibanding *monohull*.
  - a. Tahanan total
  - b. Kualitas *seakeeping*, yaitu grafik prediksi gerakan kapal yang alami.
  - c. Kualitas stabilitas, yaitu harga tinggi metasentra (MG) dan periode oleng
5. Melakukan studi, analisis dan validasi terhadap hasil program perhitungan yang telah dilakukan untuk mengetahui karakteristik masing-masing tipe. Analisis tersebut didasarkan pada dua tahapan yaitu Froude Number yang sama dan kecepatan yang sama untuk pengembangan model kapal yang tetap.
6. Penulisan tugas akhir



## 1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

### **Bab I Pendahuluan**

Bab ini berisi latar belakang, permasalahan, tujuan, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika laporan. Bab ini dapat juga dikatakan sebagai gambaran umum mengenai proses penelitian dan penulisan laporan hasil penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini.

### **Bab II Dasar Teori**

Pada bab ini akan diuraikan mengenai dasar teori yang akan digunakan untuk penyelesaian permasalahan yang ada. Disamping itu akan dicantumkan juga beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Beberapa teori yang akan diuraikan antara lain adalah teori dasar perancangan katamaran dan *monohull*, gambaran mengenai model lambung kapal cepat Series-64, teori dasar tahanan, teori interpolasi Newton-Raphson, teori gerak kapal, serta teori stabilitas kapal dan hubungannya dengan Peraturan IMO. Karakteristik umum dari kedua tipe ini beserta variasi desainnya dijabarkan secara singkat sebagai dasar dari analisa selanjutnya.

### **Bab III Pemrograman dan Validasi Program**

Bab ini berisikan permasalahan pemrograman yang dilakukan dalam tugas akhir ini, yaitu mengenai teknik pemrograman Dephi 5, panduan penggunaan program, dan gambaran umum alur kerja pemrograman. Selain itu pada bab ini juga akan diuraikan validasi hasil program, baik terhadap pengolahan secara manual maupun terhadap hasil dari eksperimen yang pernah dilakukan.



#### **Bab IV Perhitungan dan Analisis Hasil Perhitungan**

Bab ini akan menampilkan hasil keluaran program dari beberapa contoh input data dan juga dapat diamati karakteristik kapal tipe katamaran dan *monohull* berdasar hasil keluaran tersebut. Analisis karakteristik hidrodinamika dari kedua tipe tersebut dapat menjelaskan keistimewaan masing-masing tipe dan menunjukkan perubahan konfigurasi lambung terhadap unjuk kerja hidrodinamika sebuah desain.

#### **Bab V Kesimpulan dan Saran**

Pada bab terakhir ini berisikan kesimpulan dari pembahasan dan analisis yang telah dilakukan pada bab-bab sebelumnya. Pada akhirnya hasil kesimpulan ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan dan rekomendasi bagi pihak-pihak yang berkepentingan untuk mengembangkan penelitian dalam tugas akhir ini secara lebih mendalam.



## Bab II



---

## Tinjauan Pustaka



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1. UMUM**

Kapal dibangun dengan tujuan untuk mengangkut manusia, material, dan/atau persenjataan di atas laut. Dengan tujuan untuk menyelesaikan misi ini, sebuah kapal harus memiliki beberapa karakter dasar. Kapal tersebut harus mengapung dalam posisi stabil dan tegak, bergerak dengan kecepatan yang cukup, mampu bermanuver di laut bebas dan perairan terbatas, serta struktur yang cukup kuat untuk bertahan dalam kerasnya cuaca dan hantaman gelombang. Para perancang kapal harus mempunyai pengetahuan yang cukup tentang dinamika kapal untuk dapat merancang kapal dengan ciri-ciri seperti diatas.

Perancang kapal dapat membuat kapal yang mampu mengapung pada posisi tegak dan stabil di perairan tenang dengan pengetahuan hidrostatik. Pada kenyataannya, kapal jarang berlayar pada perairan tenang. Keberadaan gelombang mempengaruhi unjuk kerja kapal sedangkan desain kapal yang sukses bergantung pada unjuk kerja kapal di perairan bergelombang. Prediksi gerak kapal, beban struktur, tahanan dan daya pada perairan sebenarnya merupakan masalah yang kompleks. Keadaan ini memaksa perancang kapal untuk memilih bentuk lambung dan ukuran kapal yang berbasis pada unjuk kerja kapal pada perairan tenang dengan memberikan perhatian yang lebih pada kondisi cuaca dan perairan di rute operasi kapal.







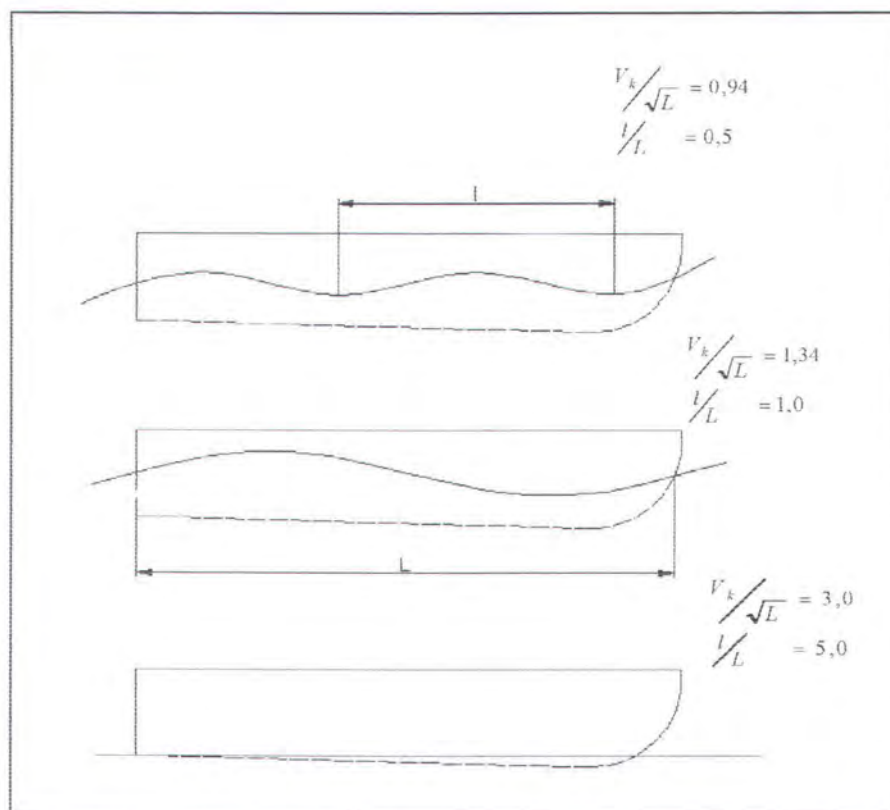
## II.2. KETERGANTUNGAN BENTUK LAMBUNG PADA RASIO KECEPATAN – PANJANG

Gerak kapal pada kecepatan tertentu di permukaan air menimbulkan gelombang dengan panjang gelombang yang proporsional dengan kuadrat dari kecepatan kapal. Permukaan gelombang ini mempunyai hubungan yang tetap antara kecepatan dan panjang gelombangnya. Pada sistem satuan Inggris, kecepatan gelombang dalam knot dibagi dengan akar kuadrat panjang gelombang dalam *feet* selalu mempunyai nilai sama dengan 1,34 kecuali untuk perairan dangkal [Savitsky, dkk., 2000]. Rasio kecepatan-panjang dari kapal displasemen dapat didefinisikan sebagai kecepatan kapal dalam knot dibagi dengan akar kuadrat dari panjang garis airnya dalam *feet*. Sehingga, ketika kapal berlayar pada rasio kecepatan panjang 1,34, kapal akan menimbulkan gelombang dengan panjang gelombang sama dengan panjang garis airnya. Hal ini dapat diidentifikasi sebagai batas atas operasi dari “kapal displasemen murni” (*pure displacement ships*). Penjelasan dari fenomena ini dapat diterangkan sebagai berikut:

Untuk rasio kecepatan-panjang kurang dari 1,0 kapal displasemen mempunyai dua atau lebih selang puncak gelombang. Perubahan dalam sarat lambung dan trim relatif terhadap kondisi statis adalah minimal. Perhitungan kebutuhan daya relatif sederhana karena tahanan hidrodinamika sebagian besar disebabkan oleh gaya gesek terhadap lambung. Karakteristik geometri dari bentuk lambung berupa *round bilge* dan meruncing pada ujung buritan. Buritan merupakan ujung penghabisan dari garis *buttock* yang mempunyai kurva menaik ke arah permukaan air untuk menghindari separasi aliran pada daerah *transom*.



Sebagaimana kecepatan kapal, panjang gelombang bertambah sampai dengan rasio kecepatan-panjang sama dengan 1,34 dan panjang gelombang sama dengan panjang garis air. Pada range kecepatan yang lebih besar, gelombang yang ditimbulkan mempunyai amplitudo yang relatif lebih kecil sehingga tahanan yang disebabkan oleh *wave-making* lebih kecil. Selain itu, pada rasio kecepatan-panjang yang lebih tinggi, gelombang yang ditimbulkan mempunyai panjang yang lebih besar dibandingkan dengan panjang garis air. Hal ini menyebabkan lambung trim ke atas dan secara literal mendaki bagian belakang gelombang yang ditimbulkan (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Pola gelombang kapal versus rasio kecepatan-panjang [Savitsky, dkk., 2000]

Penambahan kecepatan lokal yang disebabkan oleh seksi bentuk lambung tipe displasemen yang *round bilge* menghasilkan tekanan negatif pada dasar yang

diperoleh dari peningkatan harga sarat dan *trim by stern*. Akumulasi dari efek-efek yang dijelaskan di atas dan peningkatan tahanan secara tajam terhadap tipe lambung displasemen terjadi pada rasio kecepatan-panjang lebih dari 1,34. hal ini kadang disebut sebagai “*wall of resistance*” untuk kapal permukaan. Fakta ini merupakan salah satu faktor yang mendasari potensi dan analisis perancangan sebuah katamaran dan *monohull* untuk dioperasikan sebagai kapal cepat.

Untuk rasio kecepatan-panjang lebih besar dari 1,34; bentuk lambung tidak lagi mempunyai buritan bertipe *canoe* dan dikarakteristikkan dengan lurus, garis *buttock* pada buritan berakhir pada *transom* yang *submerged* dan berbentuk persegi. Seksi *round bilge* selanjutnya dapat digunakan dalam range “semi-displasemen”. Tipe lambung ini mempunyai rasio peningkatan tahanan total dengan rasio kecepatan-panjang yang lebih kecil dibandingkan dengan tipe lambung displasemen murni, namun mempunyai tahanan yang lebih tinggi pada rasio kecepatan-panjang yang lebih rendah.

Bentuk lambung semi-displasemen merupakan bentuk lambung yang cocok untuk range rasio kecepatan-panjang antara 1,34 dan 3,0

Untuk rasio kecepatan-panjang lebih besar dari 3,0; gaya angkat dinamik menjadi substansial, lambung *trim by bow* dan berada diatas level apung statis. Lambung sekarang pada mode planning dan geometri dari lambung menjauhi bentuk kurvature yang *conveks* pada kedua seksi *transversal* dan *longitudinal* (kecuali untuk daerah haluan) dengan tujuan untuk menghindari peningkatan tekanan dinamik negatif pada daerah alas. Garis *buttock* merupakan garis lurus, dengan bagian *transom* yang lebar dan *submerged*. Selain itu, *chine* dan *transom*





adalah tajam serta tidak mempunyai bentuk *round bilge* untuk memajukan pemisahan aliran secara sempurna dari buritan dan sisi lambung.

## II.3. *MONOHULL*

### II.3.1. UMUM

Kapal *monohull* telah digunakan untuk melayani transportasi laut sejak lama. Kapasitas muat yang besar merupakan alasan dominan pemilihan tipe *monohull* sebagai mode utama transportasi maritim. Penelitian yang dilakukan terhadap tipe ini memfokuskan diri pada penyempurnaan teknis dalam hal bentuk, sistem propulsi dan kualitas *seakeeping* untuk meningkatkan efisiensi hidrodinamika. Biaya pembangunan dan resiko teknologi yang relatif rendah dihubungkan dengan konsekuensi ekonomis penggunaan *monohull* memberikan nilai tambah tersendiri pada tipe ini. [Arena,1993].

Pada dasarnya, tipe lambung *monohull* terdiri dari bentuk *round bilge* sampai dengan tipe *deep-V*. Selang tahun 1948-1960, David Taylor Model Basin mengembangkan dan melakukan berbagai percobaan tahanan untuk sejumlah model lambung kapal yang saat ini disebut dengan Series-60. Percobaan tahanan dilakukan untuk kapal dengan menggunakan baling-baling tunggal. Koefisien blok ( $C_b$ ) menjadi dasar dalam variasi desain model dan berkisar antara 0,6 ~0,8. Perbandingan panjang-lebar ( $L/B$ ) antara 7,5 ~6,5 dan rasio  $\Delta^{1/3}/L$  bervariasi antara 122 dan 216,5 [Todd, 1963]. Hal ini menunjukkan bahwa lambung mempunyai ruangan yang cukup luas.

Pada tahun 1964, David Taylor Model Basin mengembangkan dan melakukan percobaan tahanan untuk Series-64, yaitu lambung displasemen untuk



kapal cepat. Rasio kecepatan-panjang untuk percobaan Series-64 berkisar antara 0,2 – 5,0 dan rasio  $\Delta^{1/3}/L$  bervariasi antara 15 dan 55. Satu hal yang penting untuk dicatat bahwa sebagian besar lambung mempunyai perbandingan L/B yang tinggi, khususnya untuk harga perbandingan  $\Delta^{1/3}/L$  yang rendah. Harga L/B untuk Series-64 bervariasi antara 8-18 dengan harga koefisien blok ( $C_b$ ) yaitu 0,35, 0,45, dan 0,55 [Yeh, 1965].

Lambung yang ramping menimbulkan pengurangan tahanan *wave-making* dan periode natural dari *heaving* dan *pitching*. Kekurangan esensial dari tipe ini adalah pemecahan masalah distribusi beban total untuk struktur memerlukan perhatian lebih bila dibandingkan dengan tipe lambung Series-60. Hal ini disebabkan terjadinya penambahan beban struktur dihubungkan dengan rasio L/B yang tinggi. Kemampuan dari kapal ini untuk mengangkut muatan di dek atas sangat terbatas karena kecilnya beam dan kualitas stabilitas yang relatif rendah [Mandel, 1962].

## II.4. KATAMARAN

### II.4.1. KONSEP KATAMARAN

Katamaran merupakan kapal displasemen dengan dua lambung yang dihubungkan dengan struktur *bridging*. Platform ini bebas dari permukaan air, sebagai konsekuensinya probabilitas terjadinya *slamming* dan *deck wetness* dapat dikurangi. Penentuan ketinggian struktur bagian atas dari permukaan air merupakan fungsi dari tinggi gelombang rute pelayaran yang dilalui. Kombinasi luas dek yang besar dan berat kapal kosong yang rendah membuat kapal tipe ini



dapat diandalkan untuk melayani transportasi muatan yang mempunyai densiti rendah namun bernilai tinggi misalnya manusia.

Katamaran mempunyai garis air lambung yang sangat ramping dengan tujuan untuk memperoleh tahanan yang rendah. Garis air yang ramping ini menyebabkan katamaran sensitif terhadap perubahan distribusi berat.

Karakter tahanan di air tenang tipe katamaran lebih besar dibandingkan dengan *monohull*. Dominasi proporsi tahanan gesek mencapai  $\pm 40\%$  dari tahanan total pada kecepatan rendah. Penurunan kecepatan akibat kondisi gelombang yang relatif tinggi tidak dijumpai dalam kasus katamaran. Tipe ini dapat dioperasikan pada kecepatan yang relatif tinggi dan masih mempunyai besaran konsumsi bahan bakar yang dapat diterima secara ekonomis. Permasalahan mengenai stabilitas dan kapasitas ruang muat tidak ditemui dalam desain katamaran sebagaimana pada tipe *monohull*. Tahanan tambahan akibat gelombang pada katamaran adalah kecil dan kualitas *seakeeping* relatif bagus untuk beroperasi pada kecepatan antara 25 – 45 knot [Wijholst, 1996].

Kekurangan intrinsik dari katamaran terletak pada konfigurasi strukturnya yang kompleks. Teknologi pembangunan kapal konvensional sulit untuk diterapkan dalam proses produksinya. Selain itu, karakteristik geometri, terutama lebar total, menjadi batasan yang signifikan terhadap lokasi pembangunan dan perawatan katamaran.

#### II.4.2. MACAM-MACAM TIPE KATAMARAN

Tipe katamaran dapat dibedakan berdasarkan bentuk bagian lambung yang berada di bawah air [Boulton, 2002].





Macam-macam tipe katamaran antara lain:

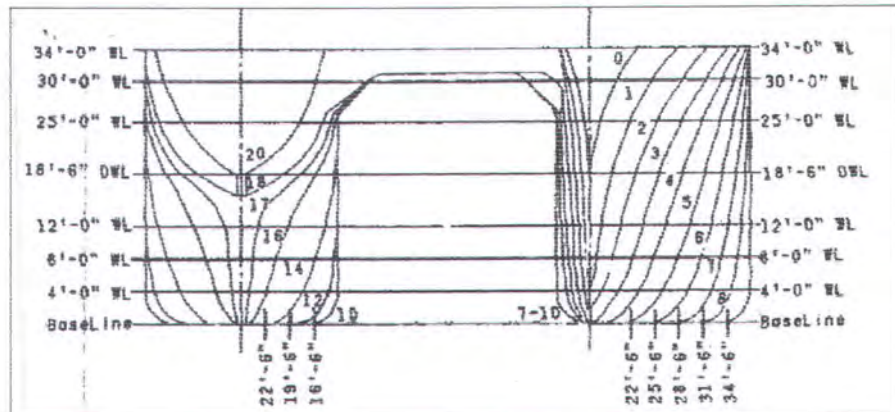
#### 1. Katamaran Asimetris

Katamaran asimetris adalah versi dasar dari katamaran. Tipe ini berupa sebuah *monohull* sederhana dengan “parit” yang memotong bagian tengah kapal. Bentuk lambung bagian dalam dari *demihull* bahkan dapat berupa bidang datar. Katamaran asimetris populer pada awal tahun 1970-an.

Desain *demihull* yang asimetris bertujuan untuk mengurangi tahanan total dengan cara menghilangkan efek interferensi dan semburan gelombang pada daerah di antara *demihull*. Penelitian yang telah dilakukan [Turner, dkk., 1968] menunjukkan hal yang sebaliknya. Semburan gelombang tetap terjadi kecuali pada desain bagian dalam *demihull* yang benar-benar datar. Tujuan untuk mengurangi tahanan interferensi dapat dicapai, namun hasilnya tidak cukup signifikan bila dibandingkan dengan tahanan total. Tahanan total dari katamaran asimetris relatif cukup tinggi bila dibandingkan dengan katamaran simetris.

Turner (1968) memberikan rekomendasi untuk tidak melanjutkan penelitian lebih lanjut terhadap katamaran jenis ini. Pada tugas akhir ini, tipe katamaran asimetris tidak ditelaah lebih dalam.





Gambar. 2.2. Gambar body plan USNS. Hayes [Bhattacharya, 1978]

## 2. Katamaran Simetris

Katamaran simetris berupa desain katamaran yang telah disempurnakan dengan dua buah bentuk lambung yang simetris dalam hal bentuk dan ukuran. Sejumlah variasi bentuk lambung dan jarak spasi antar lambung telah menunjukkan keunggulan signifikan terhadap katamaran simetris. Bentuk lambung tersebut dapat berupa displasemen maupun semi-displaemen dengan area dek berada diatas garis air. Keunggulan utama dalam hal tahanan total bila dibandingkan dengan katamaran asimetris menjadikan tipe ini tetap digunakan sampai sekarang.

## 3. Katamaran *Wave-piercing*

Katamaran tipe ini merupakan katamaran simetris dengan tambahan struktur pada bagian haluannya. Desain bagian haluan ini mempunyai banyak versi, sebagian besar mempunyai desain dasar yang runcing pada ujung haluan. Tujuan utama desain bagian haluan ini untuk operasi di bawah permukaan air yaitu lebih dapat menembus gelombang daripada memberi respon. Asumsi bahwa kondisi air



dibawah permukaan lebih stabil, maka katamaran *wave-piercing* mempunyai kualitas unjuk kerja hidrodinamika yang relatif lebih bagus.

#### 4. SWATH

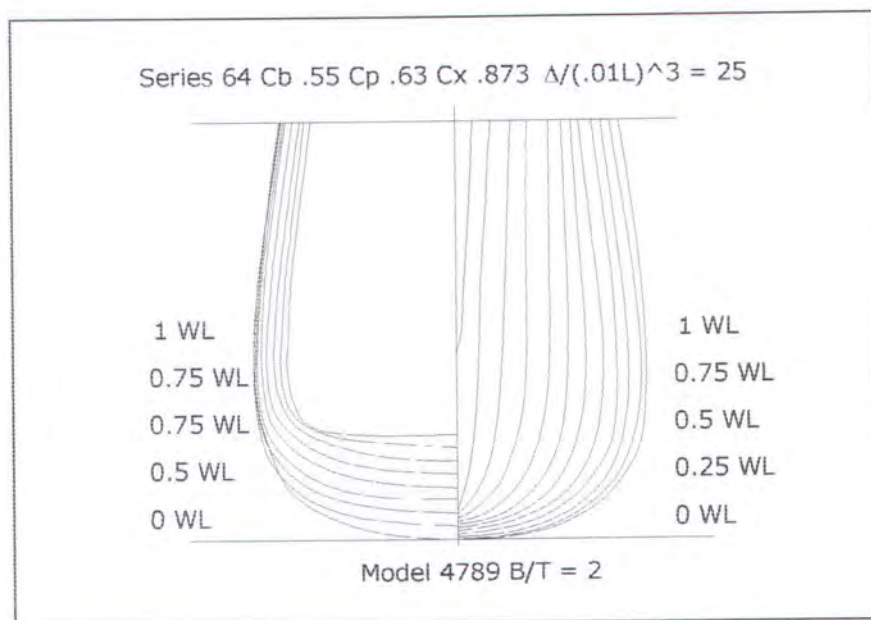
Nama SWATH, diberikan oleh Angkatan Laut AS, merupakan singkatan dari *Small Waterplan Area Twin Hull*.

Konsep SWATH timbul dari keinginan untuk mendesain suatu kapal yang dapat berlayar pada kondisi bergelombang dengan pengurangan kecepatan sekecil mungkin, tanpa *slamming*, dan tanpa *shipping of green water*. Pendekatan secara konseptual yaitu bahwa suatu aerofoil tipis pada permukaan air-udara dan sebagian besar volume gaya angkat (*buoyancy*) berpusat jauh dari gelombang yang bekerja pada *submerged hull* bagian bawah (berbentuk seperti torpedo). Posisi *twin-hull* yang terletak cukup jauh ini dimaksudkan untuk menghindari kemungkinan terburuk akibat pukulan gelombang laut. Bentuk *twin-hull* dianggap cukup memenuhi kebutuhan momen pengembali hidrostatik.

Penggabungan lambung bagian atas di atas permukaan air laut yang sesuai memungkinkan untuk memperkecil *slamming* dan *shipping of green water*. Bentuk kapal SWATH dapat dikenali dengan lambung yang tercelup jauh di bawah permukaan air dan strut sebagai pembelah permukaan yang berbentuk *streamline* digabungkan dengan lambung untuk menyangga deck struktur dengan baik diatas garis air. Kombinasi dari ketiga bagian ini biasanya disebut sebagai *hull grider*.

## II.5. SERIES-64

Dalam proses untuk menentukan daya yang diperlukan dengan tujuan untuk memenuhi kecepatan tertentu, perancang kapal kadang akan mengacu pada data tahanan yang telah disebarluaskan dalam berbagai laporan penelitian. Sebuah data menjadi sangat berguna apabila data tersebut berisi sebuah hasil percobaan dari serangkaian model yang disusun secara sistematis dengan parameter desain yang sesuai. Seri percobaan tersebut juga menjadi tolok ukur dalam menilai karakteristik unjuk kerja sebuah hasil rancangan.



Gambar 2.3 Bentuk bodyplan Series-64 dengan  $C_b = 0,55$ ,  $C_p = 0,63$ ,  $C_x = 0,873$ ,  $B/T = 2$  dan  $\Delta/(0,01L)^3$  [Yeh, 1965]

Dengan tujuan untuk mengembangkan sebuah lambung kapal cepat tipe displasemen, maka pada tahun 1964, David Taylor Model Basin mengembangkan dan melakukan percobaan tahanan untuk Series-64. Parameter utama yang dipilih sebagai basis studi tersebut adalah  $B/T$ ,  $\Delta/(0,01L)^3$ , dan Koefisien blok ( $C_b$ ).





Parameter lain seperti Koefisien midship ( $C_m$ ), Koefisien prismatic ( $C_p$ ), rasio  $L/B$  dapat diperoleh dengan menggunakan hubungan sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$C_m = C_b/C_p \quad (2.1a)$$

$$\Delta/(0,01L)^3 = C_b/[K \cdot (L/B)^2 \cdot (B/T)] \quad (2.1b)$$

dimana :

$\Delta$  = displasemen dalam LT (2240 lb)

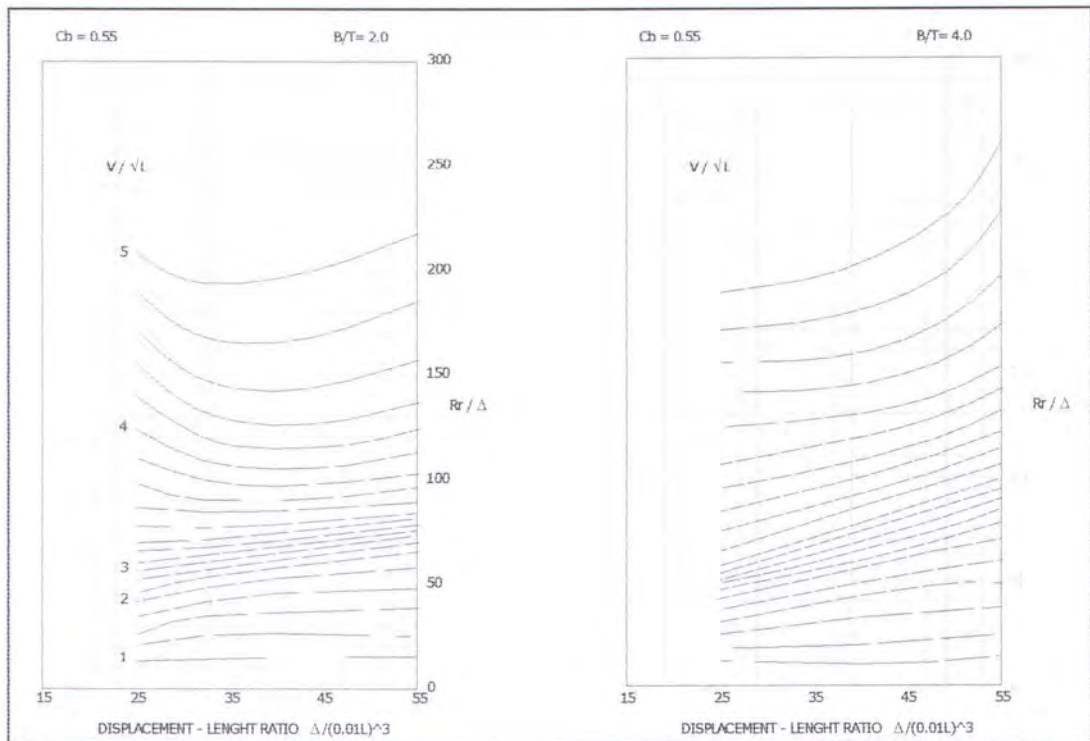
$L$  = panjang [ft]

$B$  = lebar [ft]

$T$  = sarat [ft]

$K = 34,977 \cdot 10^{-6}$

Rasio kecepatan-panjang untuk percobaan Series-64 berkisar antara 0,2 – 5,0 , rasio  $B/T$  dipilih 2, 3, dan 4, serta rasio  $\Delta/(0,01L)^3$  bervariasi antara 15 dan 55. Satu hal yang penting untuk dicatat bahwa sebagian besar lambung mempunyai perbandingan  $L/B$  yang tinggi, khususnya untuk harga perbandingan  $\Delta/(0,01L)^3$  yang rendah. Harga  $L/B$  untuk Series-64 bervariasi antara 8-18 dengan harga koefisien blok ( $C_b$ ) yaitu 0,35, 0,45, dan 0,55 dan harga  $C_p$  konstan yaitu 0,63 [Yeh, 1965].



Gambar 2.4 Grafik tahanan sisa dari Series-64 dengan  $C_b = 0,55$ , untuk  $B/T = 2$  dan  $B/T = 3$  [Yeh, 1965]

Karakteristik dari model Series-64 secara umum dapat digambarkan sebagai berikut. Model Series-64 mempunyai sudut masuk yang runcing; yakni harga setengah sudut masuk ( $1/2 \alpha$ ) sekitar  $3,7^\circ$  sampai  $7,8^\circ$ . Tidak terdapat bentuk kurvatur yang tajam pada ‘bahu’ lambung, dan *beam* maximum terdapat pada station 12. Bagian haluan melandai ke arah bawah dan belakang, sudut antara *forepeak* (FP) dengan stem antara  $25^\circ$  sampai  $30^\circ$  dengan bagian alas haluan yang lancip. Bentuk penampang melintang bervariasi mulai dari V-ekstrem sampai U-ekstrem dengan tidak terdapat radius bilga yang tajam. Seluruh model tidak memiliki bagian *parallel middle body*. Bagian buritan di bawah garis air adalah lebar dan berbentuk datar, garis *buttock* berupa garis lurus pada *afterbody* dan transom terbenam dengan potongan yang tajam pada bagian ujung.

Rasio luas station ( $A/A_x$ ), rasio ( $B/B_x$ ) dan rasio ( $T/T_x$ ) dibuat sama untuk seluruh model. Sebagai konsekuensi, maka lokasi LCB (*Longitudinal Centre of Bouyancy*) dan LCF (*Longitudinal Centre of Floatation*) adalah sama untuk semua model. Data untuk seluruh model diberikan pada lampiran.

Yeh (1965) juga memberikan hasil dari percobaan tahanan pada Model Series-64. Seluruh model terbuat dari kayu dan mempunyai panjang 10 ft pada garis air. Percobaan dilakukan dengan menarik model pada titik berat garis air (LCF) di David and Taylor Model Basin. Pada percobaan tersebut, simulator *turbulence* tidak dipasang. Hasil dari percobaan tahanan direduksi menjadi tahanan sisa dalam *pounds* per ton displasemen ( $R_r/\Delta$ ) dengan menggunakan formulasi Schoenherr.

## II.6. TAHANAN

### II.6.1. PENDAHULUAN

Metode yang digunakan dalam percobaan lambung kapal adalah dengan membagi tahanan menjadi komponen-komponen yang didasarkan pada pengukuran tahanan total dari percobaan model dan memprediksi tahanan gesek secara empirik. Metode ini dipertimbangkan dengan tujuan untuk mengidentifikasi komponen tahanan dan asumsi yang terkait dalam pembagian tersebut.

Sebuah model kapal yang bergerak pada permukaan fluida yang tak-terganggu dengan kecepatan konstan mengalami sebuah gaya yang dinamakan tahanan total. Arah dari gaya tersebut berlawanan dengan arah gerakan kapal. Tahanan total ini dapat dibagi menjadi beberapa komponen. Pada kenyataannya



komponen-komponen ini saling berhubungan satu sama lain dengan cara yang rumit, namun untuk tujuan praktis komponen-komponen tersebut dianggap independen. Asumsi ini tidak hanya memberikan metode untuk memprediksi tahanan kapal sebenarnya dengan melakukan percobaan tahanan model kapal yang diskala, namun juga dapat dimanfaatkan untuk membuat sebuah grafik prediksi tahanan berdasarkan serangkaian percobaan model secara sistematis. Dengan mengabaikan komponen tahanan udara, rincian dari komponen utama tahanan dapat dilihat pada Gambar 2.5.

## II.6.2. ESTIMASI KOMPONEN TAHANAN

Metode yang berbasis pada pengukuran tahanan total pada percobaan towing tank dan estimasi tahanan gesek pada kulit dengan menggunakan formula empiris merupakan metode yang paling praktis. Metode ini memiliki keandalan dan validitas yang relatif lebih teruji untuk ekstrapolasi hasil model dengan kapal sebenarnya. Pada kenyataannya pembagian komponen tahanan sangat hipotetis.

W. Froude merupakan orang pertama yang memberikan gambaran pembagian komponen tahanan menjadi [Harvald, 1984]:

$$R_{TM} = R_{FM} + R_{RM} \quad (2.2)$$

Dimana :

$R_{TM}$  : Tahanan total model sebagai diukur pada percobaan.

$R_{FM}$  : Tahanan gesek untuk pelat data yang mempunyai permukaan basah yang sama dengan model

$$= \frac{1}{2} \cdot C_{FM} \cdot v^2 \cdot WSA$$

$R_{RM}$  : Tahanan sisa dari model

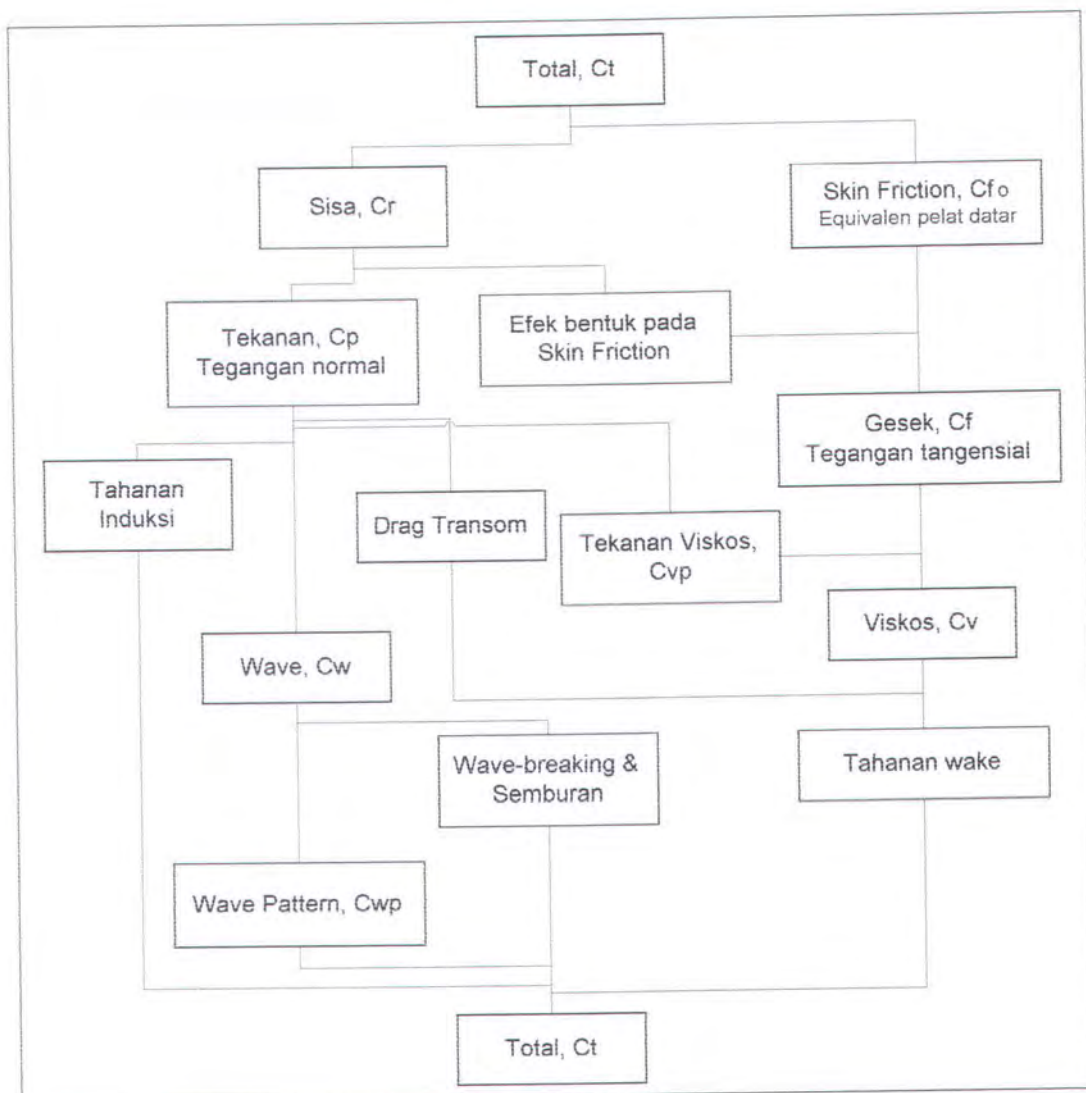
Lebih jauh, Froude mengasumsikan bahwa tahanan sisa dari model mempunyai korelasi dengan kapal sebenarnya dengan rasio displasemen (yakni  $R_{RM}/\Delta_M = R_{RS}/\Delta_S$ ) untuk kecepatan yang sama dimana dapat diperoleh dari bilangan Froude ( $Fn_M = Fn_S$ ) dan model yang memiliki pola gelombang yang sama. Dengan menggunakan metode Froude, tahanan dapat diperoleh dengan melakukan ekstrapolasi untuk kapal dengan jalan memperlakukan koefisien tahanan

$$C_{TS} = C_{FS} + (C_{TM} - C_{FM}) \quad (2.3)$$

Berdasar metode yang dikembangkan oleh Froude, maka beberapa percobaan untuk memperoleh formulasi tahanan gesek dilakukan dengan menggunakan pelat datar, diantaranya adalah formulasi yang dikeluarkan oleh ITTC 1957 [Harvald, 1983]:

$$C_F = \frac{0,075}{(\text{Log}(Rn) - 2)^2} \quad (2.4)$$

Sebagai catatan, bahwa metode yang digunakan diatas berbasis pada asumsi bahwa tahanan total merupakan penjumlahan dari tahanan gesek dan tahanan sisa. Tahanan gesek diperoleh dari persamaan (2.4) sedangkan tahanan sisa diperoleh dari percobaan model. Dalam asumsi ini efek skala akibat tegangan permukaan, *spray*, *wave-breaking* dan efek bentuk terhadap tahanan gesek diabaikan. Hubungan antara gaya *viscous* dan gaya gravitasi tidak dimasukkan kedalam perhitungan. [Insel, 1992].



Gambar 2.5. Skema komponen utama tahanan yang bekerja pada kapal [Cousier, dkk.,1997]

### II.6.3. TAHANAN PADA KATAMARAN

Komponen tahanan yang dialami oleh katamaran lebih kompleks dari pada *monohull* disebabkan adanya efek interferensi antar lambungnya. Efek interferensi ini dapat dibagi menjadi dua bagian pokok yaitu [Insel, 1990]:

1. Interferensi body : Aliran di sepanjang *demihull* simetris berbentuk tidak simetris akibat pengaruh keberadaan *demihull* yang lain, yakni medan





gelombang relatif tidak simetris pada garis tengah katamaran. Fenomena ini mengakibatkan:

- a) Kecepatan pertubasi di sekitar *demihull* meningkat, khususnya pada bagian dalam (*tunnel side*) dari lambung akibat efek venturi. Peningkatan kecepatan ini menyebabkan peningkatan pada tahanan gesek pada kecepatan pertubasi.
  - b) Aliran menyilang yang terjadi di bawah lunas dimana hal ini dapat mengakibatkan terjadinya komponen tahanan induksi dimana secara normal diabaikan dalam komponen tahanan *monohull*. Miyazawa (1979) memberikan kesimpulan berdasarkan hasil percobaan bahwa komponen tersebut relatif kecil dibandingkan dengan (a).
  - c) Peningkatan kecepatan pada sisi dalam (*tunnel side*) akan mengubah struktur lapisan batas (*boundary layer*)
  - d) Permukaan basah akan berubah akibat terjadinya gelombang dari satu *demihull* yang memukul *denihull* lainnya, sehingga tahanan gesek akan berubah.
2. Interferensi gelombang : hasil dari dua buah lambung yang bergerak bersisian, efek interferensi pada tahanan gelombang juga harus diamati.
- a) Perubahan medan tekanan menyebabkan perubahan *wave-making* dari *demihull*. Dengan kata lain, formasi gelombang dari *demihull* akan berbeda dari yang diasumsikan pada kasus *demihull* dalam isolasi.



- b) Interaksi antara *demihull* dengan gelombang akan terjadi. Gelombang melintang dari *demihull* selalu dikuatkan oleh lambung yang lainnya.
- c) Pantulan gelombang divergen dari *demihull* yang lain semakin memperumit fenomena interferensi.

Dengan tidak mengabaikan efek interferensi, metode prediksi tahanan untuk *monohull* dapat diadaptasikan untuk katamaran sebagaimana berikut [Molland, 1995]:

$$\begin{aligned}(C_T)_{CAT} &= (C_F)_{CAT} + (C_R)_{CAT} \\ &= \beta C_F + \tau C_R\end{aligned}\tag{2.5}$$

Dimana:

$\beta$  : Faktor interferensi tahanan gesek

$\tau$  : Faktor interferensi tahanan sisa

Subsrip ( $_{CAT}$ ) menunjukkan Katamaran.

Peningkatan kecepatan antar *demihull* dapat dimasukkan kedalam perhitungan dengan memperkenalkan faktor interferensi tahanan gesek ( $\beta$ ). Perhitungan untuk mendapatkan harga faktor ini dengan jalan melakukan integrasi tahanan gesek pada permukaan basah secara lokal. Umumnya koefisien ini tidak dipengaruhi oleh jarak separasi antar lambung. Pada tugas akhir ini, koefisien interferensi tahanan gesek dianggap sama dengan 1 ( $\beta = 1$ ). Faktor interferensi tahanan sisa ( $\tau$ ) dapat diteliti dari hasil percobaan. Kecenderungan harga faktor ini dengan variasi jarak separasi antar lambung dan kecepatan telah diamati antara lain oleh Insell (1992) dan Molland (1995).

Lebih jauh, Molland (1995) memberikan formulasi sederhana untuk memprediksi tahanan total katamaran berdasarkan hasil percobaan model katamaran. Model yang digunakan merupakan model lambung kapal cepat NPL dengan koefisien blok tetap ( $C_b = 0,397$ ), sebagai berikut:

$$(C_T)_{CAT} = (C_F)_{ITTC} + (C_R)_{CAT} \quad (2.6)$$

Dimana harga  $(C_R)_{CAT}$  telah memasukkan pula nilai Faktor interferensi tahanan sisa ( $\tau$ ) dan faktor interferensi tahanan gesek ( $\beta$ ).

Bila harga tahanan sisa yang diperoleh dari hasil percobaan pada Series-64 dianggap sama dengan tahanan sisa katamaran dikalikan faktor interferensi maka persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut;

Untuk *demihull* dengan konfigurasi lambung yang sama antara Series-64 dan NPL maka diperoleh:

$$(R_R/\Delta)_{\text{Series-64}} \cdot \Delta_{\text{Series-64}} = C_R 0,5 \cdot V^2 \cdot WSA_{\text{Series-64}} \quad (2.7a)$$

Untuk katamaran persamaan diatas menjadi:

$$R_R = C_R 0,5 \cdot V^2 \cdot 2 \cdot WSA_{\text{Series-64}} \quad (2.7b)$$

Dari hasil percobaan percobaan Insell (1995) diperoleh persamaan untuk tahanan sisa katamaran sebagai berikut:

$$(R_R)_{CAT} = (C_R)_{CAT} 0,5 \cdot V^2 \cdot 2 \cdot WSA_{NPL} \quad (2.8)$$

dengan membanding kedua persamaan diatas maka diperoleh

$$IF = (C_R)_{CAT} 0,5 \cdot V^2 \cdot 2 \cdot WSA_{NPL} / C_R 0,5 \cdot V^2 \cdot 2 \cdot WSA_{\text{Series-64}} \quad (2.9)$$

atau

$$IF WSA_{\text{Series-64}} / WSA_{NPL} = ((C_R)_{CAT} / C_R)$$





dimana harga

$$WSA_{\text{Series-64}} / WSA_{\text{NPL}} = 1,689$$

sehingga

$$(R_R)_{\text{CAT}} = IF \cdot 1,689 \cdot (R_R / \Delta)_{\text{Series-64}} \cdot \Delta_{\text{Series-64}} \quad (2.10)$$

Formulasi diatas menggunakan asumsi yang dipakai oleh Insell (1995) yaitu memasukkan variabel L/B, B/T, S/L dan Fn sedang faktor lain seperti koefisien blok ( $C_b$ ) tidak disertakan. Penelitian lebih lanjut mengenai validasi formulasi diatas dengan percobaan model untuk koefisien blok ( $C_b$ ) yang berbeda ini perlu dilakukan.

## II.7. TEORI DASAR GERAKAN KAPAL

### II.7.1. PENDAHULUAN

Sebuah kapal yang berlayar di permukaan laut hampir selalu berada dalam gerak osilasi, sehingga arah kapal dapat berubah dari arah yang sudah direncanakan. Meskipun demikian, bukanlah tidak mungkin untuk melakukan pengamatan terhadap karakteritik gerak kapal ketika berlayar di perairan bebas untuk dapat menjelaskan sifat alami dan menyusun bentuk teori dasar serta persamaan gerak kapal.

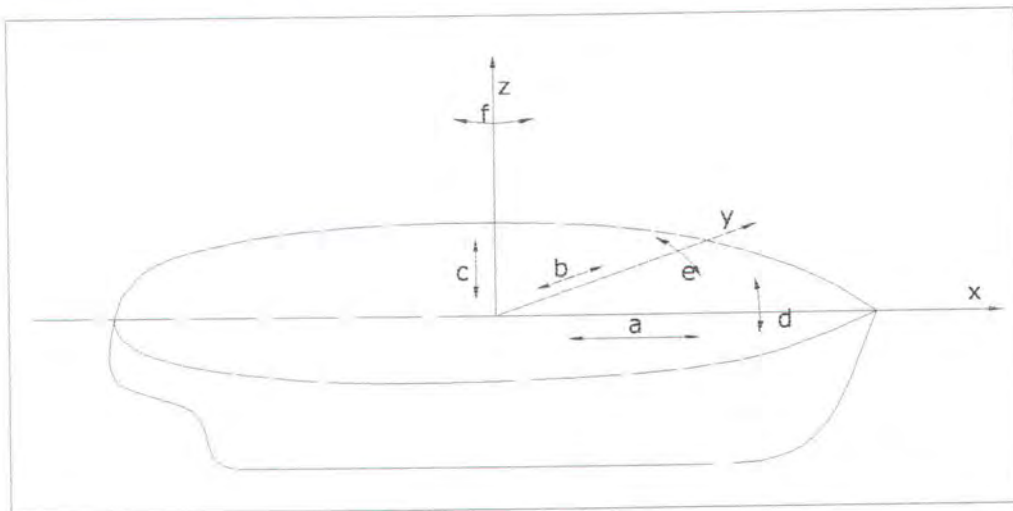
Macam-macam gerak osilasi yang dialami oleh kapal berupa enam macam gerak, seperti pada gambar 2.6, yaitu:

- Surge* (a) : gerak translasi searah sumbu x kapal
- Sway* (b) : gerak translasi searah sumbu y kapal
- Heave* (c) : gerak translasi searah sumbu z kapal
- Roll* (d) : gerak rotasi terhadap sumbu x kapal

*Pitch* (e) : gerak rotasi terhadap sumbu y kapal

*Yaw* (f) : gerak rotasi terhadap sumbu z kapal

Pada *seakeeping*, perhatian utama hanya diberikan pada gerak kapal terhadap bidang vertikal yaitu *heave*, *roll* dan *pitch*; sedangkan untuk gerak horizontal lebih penting dalam bidang *manoeuvring*. Gerakan tersebut terjadi akibat adanya *restoring force* atau *restoring moment* ketika kapal terganggu dari posisi kesetimbangannya.



Gambar 2.6. Tipe gerakan dasar kapal

Penyelesaian permasalahan gerak kapal dapat dipermudah dengan menggunakan satu derajat kebebasan. Dalam kenyataannya ketika kapal berlayar di perairan bebas akan mengalami enam derajat kebebasan dari enam macam gerakan kapal tersebut diatas. Di lain pihak, penelitian dengan menggunakan enam derajat kebebasan merupakan hal yang sulit, oleh karena itu dalam penelitian mengenai gerakan kapal sering digunakan *coupled* dari gerakan-gerakan berikut:

1. *Heave* dan *pitch*
2. *Yaw* dan *Sway*



3. *Yaw, sway* dan *roll*
4. *Roll, yaw*, dan *pitch*.

Gerakan yang paling penting untuk sebuah kapal yang berlayar dalam gelombang adalah *heave* dan *pitch* pada *head sea*, karena dua mode gerakan ini mengakibatkan terjadinya *slamming* pada *forefoot*, permasalahan *deckwetness* pada *forecastle* dan khusus katamaran, terjadinya pukulan gelombang pada struktur *bridge*. Dalam tugas akhir ini digunakan alternatif kopel gerakan *heaving* dan *pitching* untuk mempermudah penyelesaian persamaan gerak kapal. Salah satu keistimewaan katamaran dalam hal gerakan *rolling* dibahas secara terpisah dengan mengandaikannya dalam satu derajat kebebasan.

## II.7.2. KOPEL GERAKAN *HEAVING* DAN *PITCHING*

### II.7.2.1. Pendekatan Dasar

Untuk mempermudah penyelesaian kompleksitas permasalahan gerak, perlu dilakukan pembatasan masalah dan penentuan asumsi-asumsi. Asumsi pertama yang diambil adalah bahwa kapal bergerak dalam arah melintang dari puncak gelombang. Gelombang yang digunakan adalah gelombang sinusoidal dan perairan diasumsikan dalam dan tidak terbatas. Efek angin terhadap gerakan kopel *heaving* dan *pitching*, serta gerakan *surge*, *sway*, *yaw*, dan *roll* diabaikan.

Katamaran yang mempunyai bentuk lambung yang berbeda dengan *monohull* membutuhkan asumsi tambahan yaitu; efek interferensi antar *demihull* diabaikan. Katamaran dianggap sebagai dua lambung paralel yang bergerak dalam satu unison dan struktur *bridge* tidak mengalami perubahan bentuk yang





menyebabkan perubahan sarat kapal. Sehingga teori strip kapal dapat digunakan dengan mengalikan dua seluruh persamaan gerak pertama.

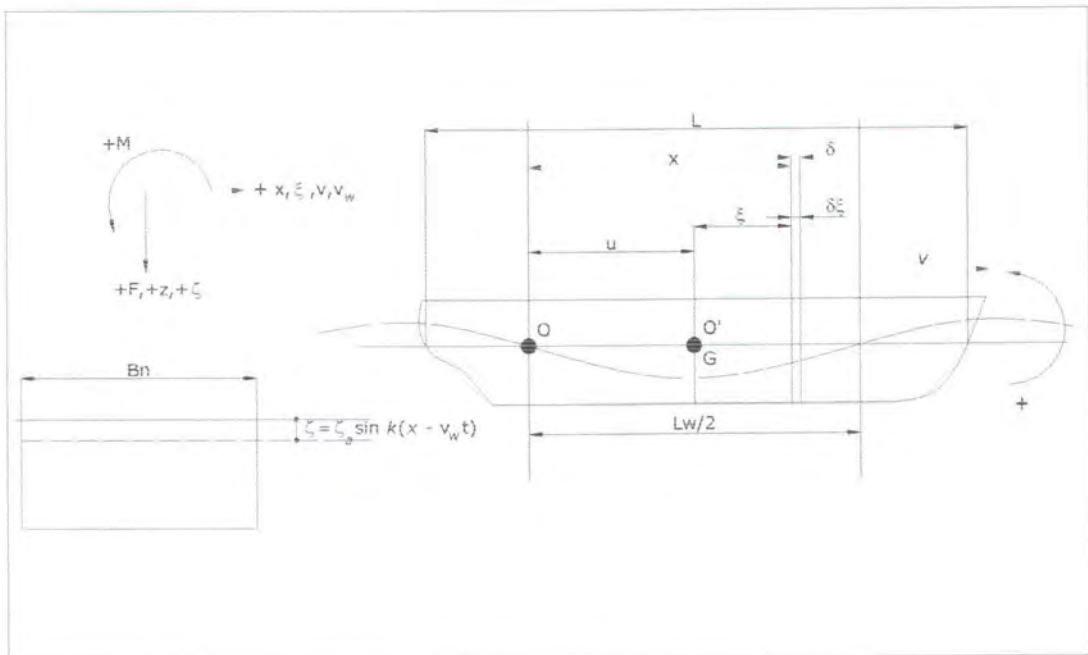
Dasar utama dari persamaan gerakan yang digunakan adalah respon frekuensi linear terhadap eksitasi harmonik. Eksitasi yang dimaksud adalah gangguan yang disebabkan oleh gaya gelombang, sedangkan gaya pengembali berupa gaya inersia akibat adanya massa bentuk dan massa hidrodinamika (*added mass*), gaya *damping wave-making*, dan gaya pengembali akibat *buoyancy*.

Gaya eksitasi gelombang diperoleh dengan menjumlahkan gaya gelombang tak-terganggu (gaya Froude-Krylov). Koefisien hidrodinamika, seperti *added mass* dan *added damping* yang termasuk dalam persamaan diperoleh dengan menggunakan pendekatan *strip theory*. Pendekatan *strip theory* berdasar pada asumsi bahwa gaya hidrodinamika yang bekerja irisan penampang melintang dapat diperoleh dengan menganggap aliran di seputar irisan berupa dua dimensi.

Ketika kapal berlayar dalam arah *head waves*, gerakan vertikal dari sebuah titik pada lambung merupakan penjumlahan dari gerakan *heave* dan *pitch*. Gerakan relatif dari titik tersebut dapat diperoleh dengan mengukur gerakan vertikal ini relatif terhadap gerakan gelombang pada posisi longitudinal yang sama. Fungsi probabilitas Raleigh dapat digunakan untuk memprediksi jumlah probabilitas *slamming* dan kontak gelombang dengan alas struktur *bridge* per unit periode waktu.

### II.7.2.2. Sistem koordinat.

Sebelum memasuki detail analisis untuk teori gerak kapal, perlu terlebih dahulu ditentukan sistem koordinat yang akan digunakan. Pada Gambar 2.7 terlihat sistem koordinat yang digunakan pada *strip theory*. Bidang horisontal terletak pada sistem sumbu x dan y, serta z ke arah vertikal dengan harga positif ke arah bawah.



Gambar 2.7. Sistem koordinat untuk *strip theory*

Sistem koordinat yang kedua dibentuk oleh sepasang sumbu koordinat kapal dengan titik origin ( $O'$ ) yang berada pada posisi titik potong garis air muat dengan garis vertikal pada titik berat (CG) kapal. Selanjutnya, koordinat memanjang untuk sistem ini adalah  $\xi$ , dengan nilai positif ke arah depan.

Dasar sistem koordinat untuk menguraikan gerak kapal mengacu pada sistem koordinat yang telah ditetapkan diatas. Komponen *heaving* ( $z$ )

Dasar sistem koordinat untuk menguraikan gerak kapal mengacu pada sistem koordinat yang telah ditetapkan diatas. Komponen *heaving* ( $z$ ) menunjukkan displasemen vertikal dari gerakan CG kapal. Komponen *pitching* ( $\theta$ ) adalah displasemen sudut pada bidang x-y terhadap titik origin dari sumbu referensi kapal. Kedudukan vertikal dari setiap titik pada posisi  $\xi$  di sepanjang garis air muat, adalah  $z - \xi \sin \theta$ , dimana  $\theta$  dalam radian. Kecepatan dan percepatan, baik linier maupun anguler, dinyatakan dengan  $\dot{z}$  dan  $\ddot{z}$  untuk *heaving* serta  $\dot{\theta}$  dan  $\ddot{\theta}$  untuk *pitching*.

### II.7.2.3. Dasar Persamaan Gaya

Pada bagian ini akan diuraikan lebih jauh tentang analisis persamaan gaya yang digunakan pada *strip theory*. Ketika kapal berada di air tenang dalam keadaan diam, bekerja gaya-gaya sesuai dengan Hukum Archimedes, yaitu gaya tekan ke atas yang dialami sama proporsinya dengan berat volume air yang dipindahkan oleh massa tersebut. Konstanta proporsionalitas ( $c$ ) didapatkan dari waterplane area bidang potongan (*strip*) dan densitas air laut. Ketika dipindahkan dari posisi keimbangannya oleh gaya eksternal secara mendadak ke arah bawah, momen *strip* akan mengubah gaya tekan keatas sebagai akibat adanya perubahan berat. Hal ini akan mengakibatkan timbulnya percepatan vertikal ke arah atas. Reaksi inersia yang berlawanan arah dengan percepatan tersebut dapat dinyatakan secara sederhana dalam bentuk :

$$F = m' \ddot{z} \quad (2.11)$$

dimana  $\ddot{z}$  : percepatan *heaving*

$m'$  : massa dengan kuantitas lebih besar dari massa *strip* sendiri





sedangkan *added mass* (massa tambahan), kuantitasnya tergantung pada bentuk kapal. Sehingga didapat resultan gaya inersia, yaitu:

$$F = (m + a)\ddot{z} \quad (2.12)$$

dimana  $m$  : massa kapal

$a_z$  : *added mass* untuk gerakan *heaving*

Kecepatan gerak dalam vertikal menyebabkan munculnya reaksi gaya yang berhubungan dengan tahanan hidrodinamis kapal. Dalam hal ini dapat digunakan metode eksperimen maupun empiris untuk menguraikan konstanta *damping* ( $b$ ) yang timbul.

Dengan melakukan analisis terhadap gaya yang bekerja pada strip, kita akan mendapatkan tiga macam gaya yang bekerja, yaitu hidrostatik, hidrodinamika, dan inersia. Selanjutnya persamaan menjadi:

$$cz = (m + a_z)\ddot{z} + b\dot{z} \quad (2.13)$$

Dengan mengacu pada kesepakatan awal untuk  $z$ , bahwa arah ke bawah adalah positif dan arah sebaliknya adalah negatif, maka jika diberlakukan pada persamaan diatas akan menjadi :

$$cz = (m + a_z)(-\ddot{z}) + b(-\dot{z}) \quad (2.14)$$

atau

$$\left(\frac{\Delta}{g} + a_z\right)\ddot{z} + b\dot{z} + cz = 0$$

dimana

$\Delta$  : berat kapal (displasemen)

jika kemudian diasumsikan bahwa strip mendapatkan gangguan dari aliran gelombang  $\zeta_a$ , *initial force* yang bekerja pada strip disebabkan oleh adanya

perubahan sarat air (dengan kata lain yang bekerja adalah gaya *buoyancy*). Lebih jauh lagi, fluktuasi ketinggian sarat air menyebabkan timbulnya gaya yang berkelanjutan, yang selanjutnya disebut sebagai *exciting force*. Harga gaya eksitasi (*exciting force*) pada saat tertentu sama dengan penjumlahan percepatan relatif, kecepatan, dan posisi antara strip dengan permukaan air, sehingga;

$$m\ddot{z} = F = a_z(-\ddot{z} + \ddot{\zeta}) + b(\dot{z} - \dot{\zeta}) + c(z - \zeta) \quad (2.15)$$

atau

$$m\ddot{z} + a_z(\ddot{z} - \ddot{\zeta}) + b(\dot{z} - \dot{\zeta}) + c(z - \zeta) = 0$$

dimana  $\ddot{\zeta}$ ,  $\dot{\zeta}$ , dan  $\zeta$  adalah, berturut-turut, posisi, kecepatan dan permukaan air sesaat.

Untuk selanjutnya persamaan diatas dapat disusun menjadi:

$$(m\ddot{z} + a_z)\ddot{z} + b\dot{z} + cz = a_z\ddot{\zeta} + b\dot{\zeta} + c\zeta \quad (2.16)$$

Persamaan sisi kanan merupakan gaya eksitasi yang disalurkan pada badan kapal oleh gelombang. Gaya akibat adanya gelombang dianalisis dengan asumsi fluida ideal, yaitu dengan mengabaikan viskositas yang ada.

Hal pertama yang dilakukan untuk menguraikan gerakan kapal di gelombang adalah dengan menguraikan gerakan relatif kapal dengan gelombang. Posisi absolut vertikal setiap titik sepanjang kapal dapat dinyatakan dengan  $z - \xi\theta$ . Sehingga posisi vertikal setiap titik terhadap gelombang adalah

$$z_r = z - \xi\theta - \zeta \quad (2.17)$$

untuk gerakan *pitching* kecil. Differensial persamaan terhadap waktu menghasilkan persamaan kecepatan relatif vertikal

$$w_r = \dot{z}_r = \dot{z} - (\dot{\xi}\theta + \theta\dot{\xi}) - \dot{\zeta} \quad (2.18)$$

hal yang perlu diingat pada kejadian ini bahwa kapal bergerak ke depan dengan kecepatan ( $u$ ), sehingga:

$$\frac{d\xi}{dt} = \dot{\xi} = -u \quad (2.19)$$

dan percepatan relatif vertikal adalah

$$\begin{aligned} \dot{w}_r = \ddot{z}_r &= \ddot{z} - \dot{\xi}\ddot{\theta} + \dot{\theta}(-u) + u\dot{\theta} - \ddot{\theta} \\ &= \ddot{z} - \dot{\xi}\ddot{\theta} + 2u\dot{\theta} - \ddot{\xi} \end{aligned} \quad (2.20)$$

#### II.7.2.4. Aplikasi Persamaan Gaya

Persamaan khusus untuk total respon kapal dapat disusun dengan menggunakan persamaan gaya dan gerak relatif [Lewis, 1988]. Dalam menjelaskan teorinya, Korvin-Kroukovsky dan Jacobs membagi kapal menjadi bagian-bagian secara melintang, sepanjang badan kapal. Pada gambar 2.7, bagian tersebut didefinisikan sebagai pembagian lambung kapal oleh bidang vertikal dengan jumlah tak terbatas.

Kombinasi gaya yang bekerja pada strip harus berada dalam kondisi setimbang pada setiap saat. Namun bisa dimungkinkan pada setiap bagian strip akan ditimbangkan oleh adanya gaya geser vertikal ( $d/n/d\xi$ ) pada struktur kapal.

Kontribusi gaya geser vertikal dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{\partial f_n}{\partial \xi} = -m_n \ddot{z}_n - (a_n \dot{w}_r + b_n w_r) - c_n z_r \quad (2.21)$$

$m_n \ddot{z}_n$  : gaya inersia akibat adanya percepatan massa strip

$a_n \dot{w}_r$  : gaya hidrodinamika akibat adanya percepatan massa tambahan





$b_n w_r$  : gaya *damping* hidrodinamika akibat adanya kecepatan relatif

$c_n z_r$  : gaya hidrostatik akibat kedudukan relatif

Koefisien  $a_n$ ,  $b_n$ , dan  $c_n$  didapat dari tiap bagian strip, karena ketiga variabel tersebut merupakan fungsi dari bentuk lambung kapal. Oleh karena koefisien  $a_n$  berubah sesuai dengan bentuk potongan strip dan waktu, maka derivatif dengan  $(a_n w_r)/dt$  harus diuraikan untuk mempermudah penyelesaian  $a_n w_r$ , sehingga :

$$\begin{aligned}\frac{d(a_n w_r)}{dt} &= w_r \frac{da_n}{dt} + a_n \frac{dw_r}{dt} \\ &= w_r \frac{da_n}{dt} + a_n \dot{w}_r\end{aligned}\quad (2.22)$$

Kombinasi persamaan tersebut dengan persamaan gaya akan menghasilkan:

$$\frac{\partial f_n}{\partial \xi} = -m_n \ddot{z}_n - a_n \dot{w}_r - \left( b_n + \frac{da_n}{dt} \right) w_r - c_n z_r \quad (2.23)$$

dari persamaaan diatas dapat dihitung gaya setiap potongan strip di sepanjang kapal. Hal itu dapat dilakukan dengan mengintegalkan  $\frac{\partial f_n}{\partial \xi}$  terhadap  $x$ , hasilnya

dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{\partial f_n}{\partial \xi} dx = 0 \quad (2.24)$$

Satu hal yang harus diingat bahwa displasemen horisontal adalah

$$x = \xi + ut$$

dimana ;  $ut$  : displasemen jarak antara titik origin sistem koordinat dengan titik origin kapal

$\xi$  : jarak dari origin kapal ke titik yang ditinjau oleh persamaan.

Untuk setiap waktu ( $t$ ),  $ut$  mempunyai nilai konstan, sehingga

$$dx = d\xi + d(ut) = d\xi \quad (2.25)$$

dan persamaan penjumlahan gaya menjadi

$$\int \frac{\partial f_n}{\partial \xi} d\xi = 0$$

atau dengan memasukkan persamaan (2.23)

$$-\int \frac{\partial f_n}{\partial \xi} d\xi = \int m_n \ddot{z}_n d\xi + \int a_n \dot{w}_r d\xi + \left( \int b_n w_r d\xi - \int \frac{da_n}{dt} w_r d\xi \right) + \int c_n z_r d\xi \quad (2.26)$$

dimana :

$$\ddot{z}_n = \ddot{z} - \xi \ddot{\theta}$$

Seperti telah didefinisikan sebelumnya, bahwa  $z_r = z - \xi\theta - \zeta$  ; maka persamaan tersebut harus dimodifikasi sebagai akibat adanya efek fluktuasi tekanan. Dengan tujuan menghitung efek fluktuasi tersebut, maka persamaan relatif kedudukan vertikal dimodifikasi menjadi

$$z_r = z - \xi\theta - \zeta e^{-kz} \quad (2.27)$$

dimana  $e^{-kz}$  adalah faktor fluktuasi tekanan yang besarnya sama dengan tekana gelombang setiap sarat strip yang ditinjau. Dengan demikian, persamaan kecepatan dapat ditulis sebagai berikut:

$$w_r = \frac{dz_r}{dt} = \dot{z} - (\xi \dot{\theta} + u \dot{\theta}) - \dot{\zeta} e^{-kz} \quad (2.28)$$

dan percepatan relatif

$$w_r = \frac{dw_r}{dt} = \ddot{z} - (\xi \ddot{\theta} + 2u \dot{\theta}) - \ddot{\zeta} e^{-kz} \quad (2.29)$$

### II.7.2.5. Persamaan Gerak

Integrasi persamaan gaya dengan mensubstitusikan persamaan untuk  $\ddot{z}_r$ ,  $\dot{w}_r$ , dan  $w_r$  menghasilkan persamaan yang sangat kompleks dan sulit. Permasalahan ini dapat dipermudah dengan membagi kondisi persamaan gerak menjadi persamaan gerak absolut dan gerak gelombang. Dengan menempatkan seluruh kondisi absolut kapal di sebelah kiri dan kondisi gelombang di sebelah kanan, didapatkan kondisi yang merupakan analog untuk kondisi *uncoupled motion*. Dengan kata lain, pada sisi kiri persamaan menunjukkan respon natural dari displasemen kapal di air tenang. Pada sisi kanan persamaan disusun oleh karakteristik gelombang berupa fungsi gaya.

Penyelesaian umum persamaan gerak untuk kapal *monohull* dapat ditulis sebagai berikut:

$$(m + a_z)\ddot{z} + b\dot{z} + cz + d\ddot{\theta} + e\dot{\theta} + h\theta = F(t) \quad (2.30)$$

$$\text{dimana : } m = \int m_n d\xi$$

$$a_z = \int a_n d\xi$$

$$b = \int b_n d\xi$$

dengan asumsi bahwa  $u \int \frac{da_n}{d\xi} d\xi = 0$ , maka

$$c = \int c_n d\xi \quad (2.31)$$

$$d = -\int a_n \xi d\xi \quad (2.32)$$

jika  $\int m_n \xi d\xi = 0$  (dengan kata lain momen massa total terhadap CG bernilai nol),



maka;

$$e = -\int b_n \xi d\xi + 2u \int a_n d\xi + u \int \frac{da_n}{d\xi} \xi d\xi \quad (2.34)$$

$$= -\int b_n \xi d\xi + ua_z \text{ dengan } -a_z = \int a_n d\xi = u \int \frac{da_n}{d\xi} \xi d\xi$$

$$h = -\int c_n \xi d\xi + u \int b_n d\xi = \int c_n \xi d\xi + uh \quad (2.35)$$

jika  $u^2 \int \frac{da_n}{d\xi} d\xi = 0$ , dan

$$F(t) = \int \frac{dF}{dx} dx = \zeta_a e^{-kz} \int \left( -\omega_e^2 a_n + c_n \right) \sin(k\xi - \omega_e t) d\xi - \zeta_a e^{-kz} \omega_e u \int \left( b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) d\xi \cos(k\xi - \omega_e t) d\xi \quad (2.35a)$$

Jika gaya eksitasi (F) sinusoidal secara alami, maka dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan umum

$$\begin{aligned} F &= F_1 \cos \omega_e t + F_2 \sin \omega_e t \\ &= F_o \cos(\omega_e t + \sigma) \end{aligned} \quad (2.36)$$

dimana  $F_o$  adalah amplitudo gaya eksitasi, yaitu  $F_o = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$

dan  $\sigma$  adalah fase gaya eksitasi relatif terhadap gerak gelombang

$$\sigma = -\tan^{-1} \left( \frac{F_1}{F_2} \right) \quad (2.37)$$

$F_o$  dan  $\sigma$  didapatkan dari penyelesaian fungsi gaya, dimana  $F_1$  dan  $F_2$  didapat dari

$$\begin{aligned} F_1 &= \int \frac{dF_1}{dx} dx \\ \int \frac{dF_1}{dx} dx &= \zeta_a e^{-kz} \left( -\omega_e^2 a_n + c_n \right) \sin(k\xi) + \zeta_a e^{-kz} \omega_e \left( b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \cos(k\xi) \end{aligned} \quad (2.38)$$

dengan cara yang sama

$$F_2 = \int \frac{dF_2}{dx} dx$$

$$\int \frac{dF_2}{dx} dx = \zeta_a e^{-kz} \left( -\omega_e^2 a_n + c_n \right) \cos(k\xi) + \zeta_a e^{-kz} \omega_e \left( b_n - u \frac{da_n}{d\xi} \right) \sin(k\xi) \quad (2.39)$$

Persamaan diatas merupakan persamaan gerak pertama yang memadukan seluruh komponen gaya yang bekerja pada kapal. Persamaan gerak kedua merupakan persamaan gerak anguler yang mengacu pada persamaan pertama, yaitu:

$$(I_{yy} + A_{yy})\ddot{\theta} + B\ddot{\theta} + C\dot{\theta} + D\ddot{z} + E\dot{z} + H\dot{z} = M(t) \quad (2.40)$$

yang menunjukkan momen gaya yang bekerja pada kapal. Koefisien yang ada diuraikan sebagai berikut

$$A_{yy} = \int a_n \xi^2 d\xi \quad (2.40a)$$

$$B = \int b_n \xi^2 d\xi \quad (2.40b)$$

jika diketahui

$$2u \int a_n \xi d\xi = u \int \frac{da_n}{d\xi} \xi^2 d\xi, \quad (2.40c)$$

$$C = \int c_n \xi^2 d\xi - uE \quad (2.40d)$$

$$D = d$$

$$E = \int b_n \xi d\xi - ua_z \quad (2.40e)$$

$$H = - \int c_n \xi d\xi \quad (2.40f)$$

$$M_o = M_o \cos(\omega_e t + \tau) = \int \frac{dF}{d\xi} \xi d\xi \quad (2.40g)$$

dimana  $M_o$  adalah amplitudo momen eksitasi eksitasi relatif, yang didapatkan dari

$$M_o = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} \quad (2.40h)$$

dan  $\tau$  adalah fase momen eksitasi relatif terhadap gerak gelombang, yang besarnya



$$\tau = -\tan^{-1}\left(\frac{M_1}{M_2}\right) \quad (2.40i)$$

$$M_1 = \int \frac{dM_1}{dx} d\xi \quad (2.40j)$$

dimana  $\frac{dM_1}{dx} = \xi \left( \frac{dF_1}{dx} \right)$  dan

$$M_2 = \int \frac{dM_2}{dx} d\xi \quad (2.40k)$$

di mana  $\frac{dF_2}{dx} = \xi \left( \frac{dF_2}{dx} \right)$

Catatan: Koefisien-koefisien yang ada pada persamaan (2.40j) dan (2.40k) *dependent* terhadap geometri lambung kapal, kecepatan kapal, dan frekuensi *encountering*. Untuk mendapatkan hasil koefisien hidrodinamis yang lebih akurat, penyelesaian untuk  $b$ ,  $c$ , dan  $B$  harus diselesaikan tanpa menggunakan asumsi yang ada. Linearitas dari persamaan (2.40j) dan 2.40k) tergantung dari amplitudo gerakan yang proporsional linier terhadap amplitudo fungsi gaya.

Untuk *added mass* ( $a_n$ ) yang digunakan dalam penyelesaian persamaan tersebut berlaku pemahaman bahwa koefisien massa tambahan (*added mass*),  $C$ , dapat didefinisikan dengan massa tambah untuk setiap section kapal dengan lebar ( $B_n$ ) dan sarat ( $T_n$ ), dibagi dengan massa tambah dari luasan setengah lingkaran dengan diameter  $B_n$  (Lewis, 1929) sehingga dapat dituliskan

$$C = \frac{\text{added mass untuk setiap section kapal dengan lebar } B_n \text{ dan sarat } T_n}{\text{added mass dari luasan setengah lingkaran dengan diameter } B_n} \quad (2.41)$$

dengan setengah dari *added mass* untuk setiap segmen lingkaran dengan diameter  $B_n$  adalah





$$\frac{1}{2} \rho \pi r^2 = \frac{\rho \pi B_n^2}{8} ; \text{dimana } B_n = 2r \text{ maka;}$$

$$a_n = C \cdot \frac{\rho \pi B_n^2}{8} \quad (2.42)$$

Koefisien C untuk *Lewis Form section* didapatkan dengan membaca grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 sebagai fungsi rasio B/T dan koefisien luas section. Total *added mass* didapatkan dengan mengintegralkan persamaan (2.42)

$$\text{dengan batas } -\frac{L}{2} \leq x \leq \frac{L}{2} \text{ sehingga didapat } a_z = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} a_n dx.$$

Dengan menggunakan harga  $a_n$  dan  $B_n = 2y(x)$ , dimana  $y(x)$  adalah setengah lebar waterline maka didapatkan

$$a_z = \rho \frac{\pi}{2} \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} C y^2(x) dx \quad (2.43)$$

secara umum dapat dikatakan bahwa koefisien massa tambahan (*added mass*) untuk gerakan *heaving* bertambah sesuai dengan besarnya koefisien blok kapal ( $C_b$ ) dan rasio B/L [Bhattacharyya, 1978].

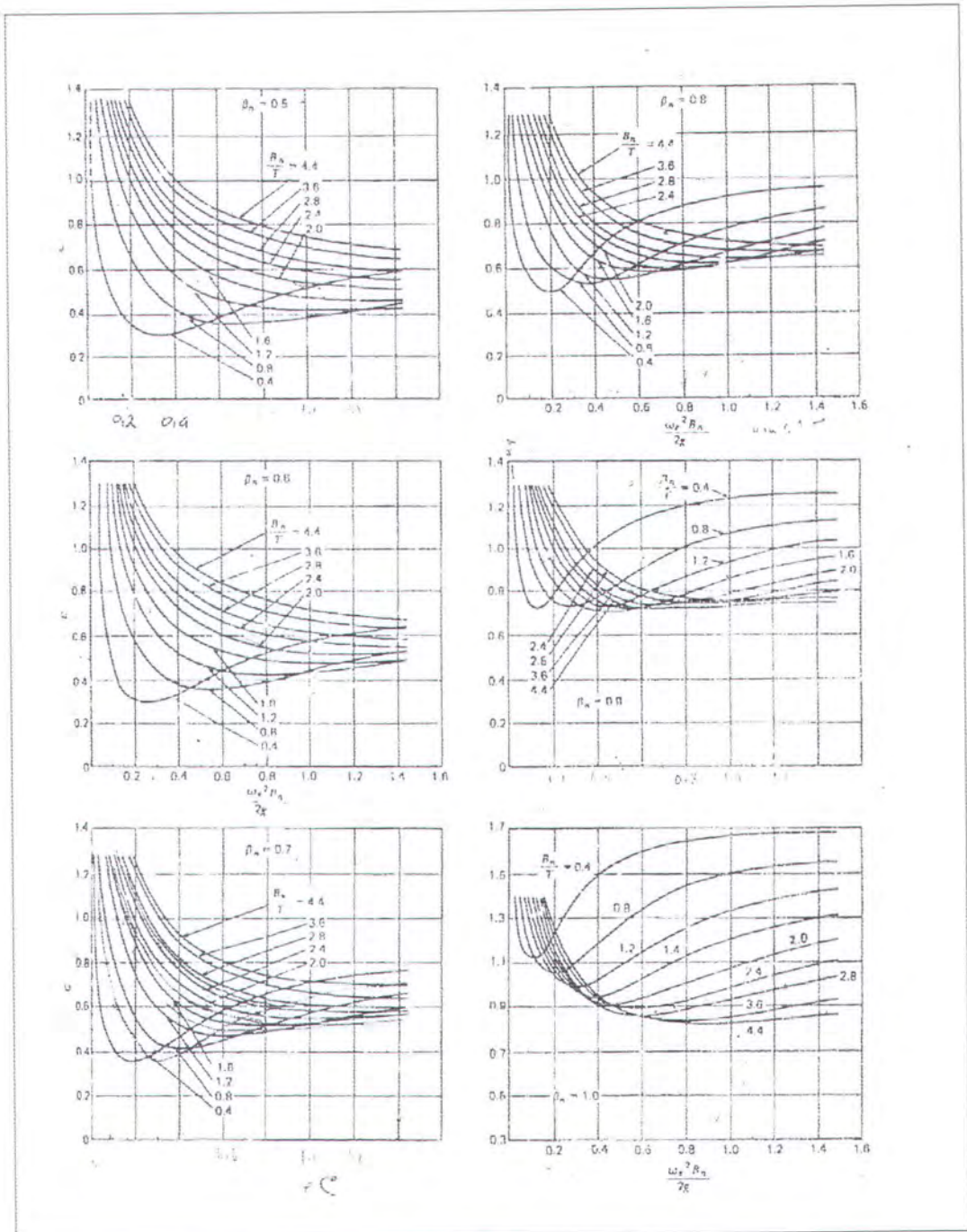
Seperti halnya dalam permasalahan *added mass*, koefisien *damping* ( $b$ ) dapat dihitung dengan menggunakan *strip theory*. Secara umum, timbulnya *damping* pada gerakan *heave* disebabkan adanya gelombang yang terjadi akibat gerakan *heave*, maka koefisien *damping* untuk setiap unit panjang secara langsung berhubungan dengan amplitudo gelombang. Dari HSVA Report 1171 [Grim, 1959], koefisien *damping* per-unit panjang ( $b_n$ ) ditunjukkan oleh

$$b_n = \frac{\rho g^2 \bar{A}^2}{\omega_e^3} \quad (2.44)$$



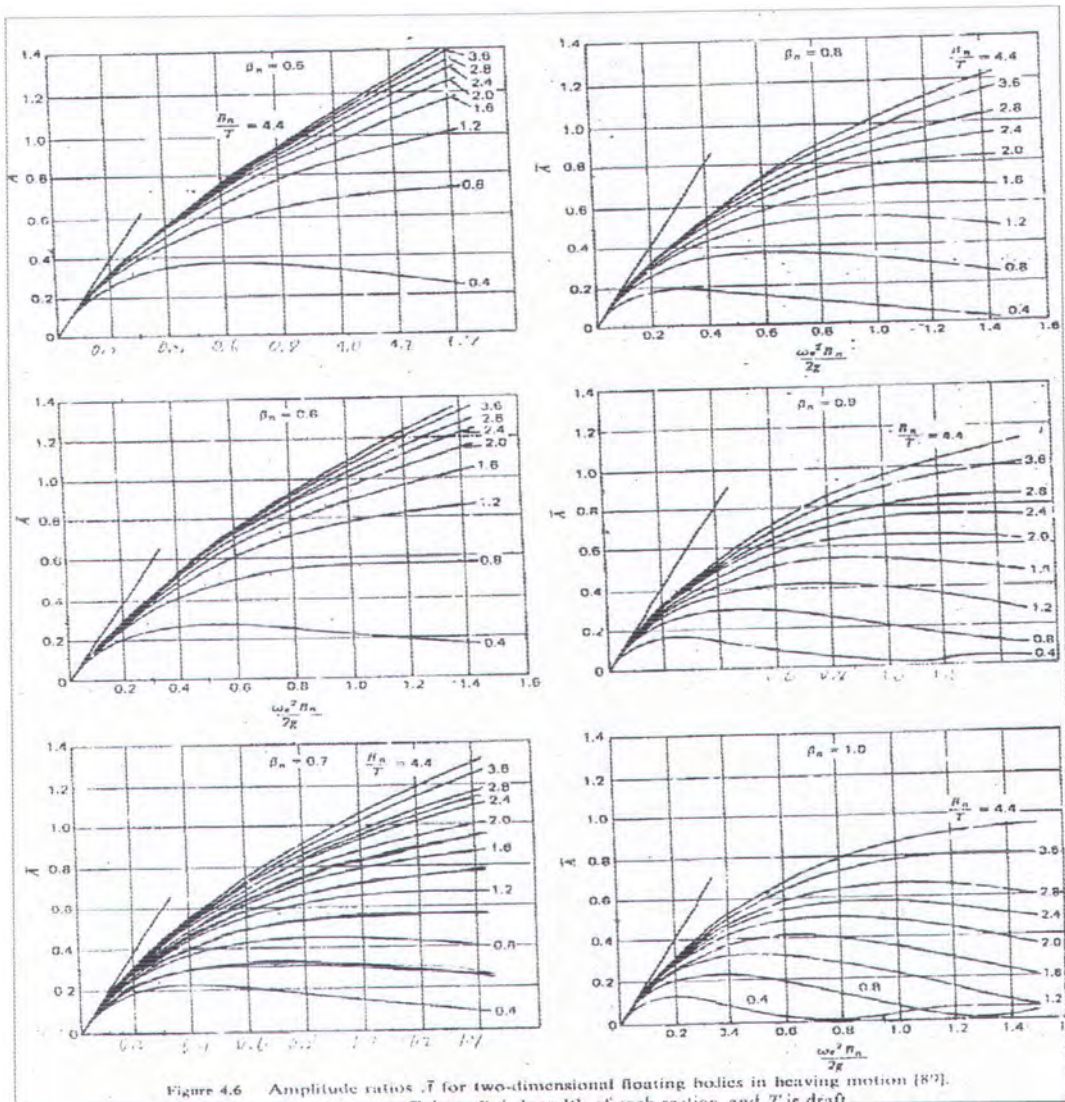
dimana  $\omega_e$  adalah frekuensi gelombang radiasi ( dalam hal ini adalah frekuensi encounter), dan

$$\bar{A} = \frac{\text{Amplitudo of the Radiated Waves}}{\text{Amplitudo of the Heaving Motion}} = \frac{\bar{S}_a}{z_a} \quad (2.45)$$



Gambar 2.8 Koefisien added mass untuk perhitungan gerak kapal [Bhattacharyya, 1978]





Gambar 2.9 Rasio amplitudo ( $\bar{A}$ ) untuk perhitungan gerak kapal [Bhattacharyya, 1978]

Rasio amplitudo ( $\bar{A}$ ) bisa didapatkan dari gambar 2.9; dan hasil akhir untuk total damping coefficient didapatkan dengan melakukan integrasi terhadap  $b_n$  sepanjang badan kapal, yaitu:

$$b = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} b_n dx \quad (2.46)$$



Persamaan gerak kopel *heave* dan *pitch* di air tenang dapat diselesaikan dengan menyamakan sisi kanan dari persamaan (2.30) dan (2.40) dengan nol dan mengasumsikan koefisien-koefisien dari  $a_z$  sampai  $h$  dan  $A_{yy}$  sampai  $H$  sama untuk keadaan di air tenang maupun di gelombang.

#### II.7.2.6. Penyelesaian Persamaan Gerak

Pada bagian ini, penyelesaian akhir permasalahan gerak disusun dengan *strip theory*. Penurunan terhadap waktu dari perspektif displasemen akan memberikan penyelesaian *heaving* dan *pitching*.

Karena dalam penyelesaian persamaan gerak didalamnya termasuk amplitudo dan fase, maka bentuk terbaik untuk menyelesaikan adalah dalam bentuk bilangan kompleks, sehingga

$$\bar{F} = F_0 e^{i\sigma} \quad (2.47)$$

$$\bar{M} = M_0 e^{i\tau} \quad (2.48)$$

Jika  $P$ ,  $Q$ ,  $R$ , dan  $S$  adalah bentuk kompleks dari koefisien-koefisien yang berhubungan dalam persamaan gerak, maka dari (2.40)

$$P = -(m + a_z)\omega^2 + iB\omega + c \quad (2.49)$$

$$Q = -d\omega^2 + ie\omega + h \quad (2.50)$$

$$R = -(I_{yy} + A_{yy})\omega^2 + iB\omega + C \quad (2.51)$$

$$S = -D\omega^2 + iE\omega + H \quad (2.52)$$

Jika  $\bar{z}$  menunjukkan seluruh turunan  $z$  dan  $\bar{\theta}$  menunjukkan seluruh turunan dari  $\theta$ , maka persamaan gerak secara umum dapat ditulis menjadi



Persamaan pertama (*heave*) :  $P\bar{z} + Q\bar{\theta} = \bar{F}$  (2.53)

Persamaan kedua (*pitch*) :  $S\bar{\theta} + R\bar{z} = \bar{M}$  (2.54)

Dimana  $\bar{z}$  dan  $\bar{\theta}$  adalah amplitudo gerak dalam bentuk kompleks, yaitu

$$\bar{z} = z_a e^{i\sigma} \quad (2.55)$$

$$\bar{\theta} = \theta_a e^{i\tau} \quad (2.56)$$

Penyelesaian untuk  $\bar{z}$  dan  $\bar{\theta}$

$$\bar{z} = \frac{\bar{F} - Q\bar{\theta}}{P} \quad (2.57)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{F} - P\bar{z}}{Q} \quad (2.58)$$

dan dalam persamaan *pitch*

$$\bar{z} = \frac{\bar{M} - S\bar{\theta}}{R} \quad (2.59)$$

$$\bar{\theta} = \frac{\bar{M} - R\bar{z}}{S} \quad (2.60)$$

Adanya kopel alami *heave* dan *pitch* ditunjukkan oleh masuknya komponen  $z$  dalam persamaan  $\theta$  dan begitu pula sebaliknya.

Dari masing-masing persamaan respektif terhadap  $\bar{z}$  dan  $\bar{\theta}$  akan menghasilkan

$$\frac{\bar{F} - Q\bar{\theta}}{P} = \frac{\bar{M} - S\bar{\theta}}{R} \quad (2.61)$$

$$\frac{\bar{F} - P\bar{z}}{Q} = \frac{\bar{M} - R\bar{z}}{S} \quad (2.62)$$

sehingga

$$\bar{z} = \frac{\bar{M}Q - \bar{F}S}{QR - PS} \quad (2.63)$$



$$\bar{\theta} = \frac{\overline{FR} - \overline{MP}}{\overline{QR} - \overline{PS}} \quad (2.64)$$

dengan menunjukkan amplitudo dan phase lag untuk  $\bar{z}$  dan  $\bar{\theta}$ , dapat ditunjukkan bentuk penyelesaian akhir untuk kedua gerakan, yaitu:

$$\bar{z} = z_a e^{i\delta} = z_a (\cos \delta + i \sin \delta) \quad (2.65)$$

$$\bar{\theta} = \theta_a e^{i\varepsilon} = \theta_a (\cos \varepsilon + i \sin \varepsilon) \quad (2.66)$$

dimana  $z_a$  dan  $\delta$  adalah amplitudo dan fase *heave*,  $\theta$  dan  $\varepsilon$  adalah amplitudo dan fase *pitch*.

### II.7.3. INTERPOLASI POLINOMIAL NEWTON

Pada tugas akhir ini, untuk menaksir nilai antara (*intermediate values*) diantara titik-titik data yang tepat memakai metode interpolasi polinomial. Rumus umum untuk polinomial orde ke- $n$  adalah [Chapra & Canale, 1994]:

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (2.67)$$

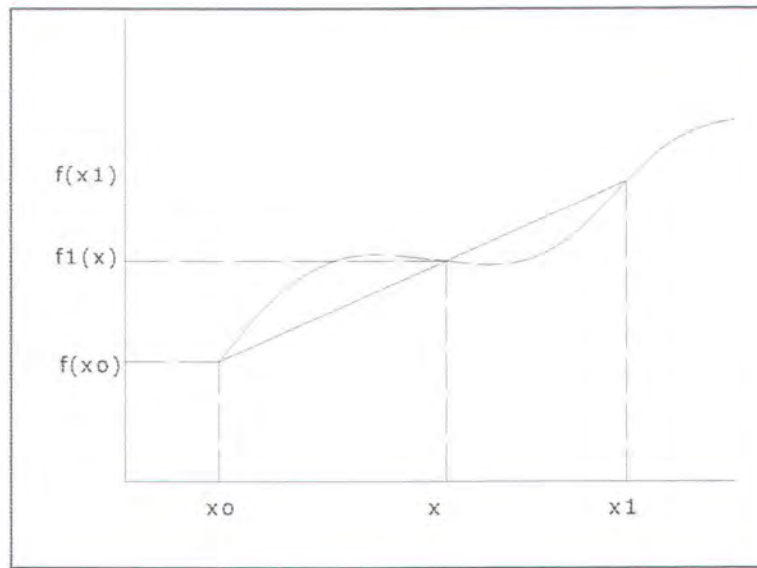
Untuk  $n+1$  titik data terdapat hanya satu dan hanya satu polinomial orde ke- $n$  atau kurang yang melalui semua titik. Misalnya, terdapat hanya satu garis lurus (yakni suatu polinomial orde pertama) yang menghubungkan dua titik. Demikian pula, hanya terdapat satu parabola yang menghubungkan himpunan tiga titik.

Interpolasi polinomial terdiri atas penentuan polinomial unik orde ke- $n$  yang cocok dengan  $n+1$  titik data, maka polinomial ini menyediakan rumus untuk menghitung nilai antara (*intermediate values*). Walaupun terdapat satu





polinomial orde ke- $n$  yang cocok dengan  $n+1$  titik, terdapat beragam bentuk matematik untuk mengungkapkan polinomial ini. Pada tugas akhir kali ini, interpolasi polinomial Newton dianggap paling sesuai untuk implementasi pada komputer pribadi dan logika pemograman yang dikerjakan



Gambar 2.10. Metode interpolasi linear dengan cara segitiga sebangun

Bentuk umum interpolasi yang paling sederhana adalah menghubungkan dua titik data dengan garis lurus. Teknik ini, yang dinamakan interpolasi linear, dilukiskan secara grafis dalam Gambar 2.10. Dengan memakai segitiga-segitiga sebangun,

$$\frac{f_1(x) - f(x_0)}{(x - x_0)} = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{(x_1 - x_0)} \quad (2.67)$$

maka rumus diatas dapat disusun ulang untuk memperoleh:

$$f_1(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{(x_1 - x_0)}(x - x_0) \quad (2.68)$$



yang merupakan rumus interpolasi linear. Cara penulisan  $f_1(x)$  menunjukkan bahwa ini adalah polinomial interpolasi orde pertama. Selain itu, bentuk  $[f(x_1) - f(x_0)]/(x_1 - x_0)$  menunjukkan kemiringan garis yang menghubungkan titik-titik dan hampiran beda-hingga-terbagi dari turunan pertama. Umumnya semakin kecil selang diantara titik-titik data, semakin baik aproksimasinya.

Persamaan diatas valid untuk kurva yang dalam kenyataannya berupa garis lurus dan dihampiri dengan garis lurus pula. Strategi untuk memperbaiki taksiran adalah memperkenalkan suatu kelengkungan garis yang menghubungkan titik tersebut. Jika terdapat  $n+1$  titik data, maka dapat dilaksanakan dengan polinomial orde ke- $n$ . Bentuk secara khas yang cocok untuk maksud ini adalah:

$$f_n(x) = b_0 + b_1(x - x_0) + \dots + b_n(x - x_0)(x - x_1)\dots(x - x_{n-1}) \quad (2.69)$$

Sebagaimana telah diterangkan sebelumnya dengan interpolasi linear, titik-titik data dapat dipakai untuk menghitung koefisien-koefisien  $b_0, b_1, \dots, b_n$ . Untuk polinomial orde ke- $n$ , diperlukan  $n+1$  titik-titik data:  $x_0, x_1, \dots, x_n$ . Dengan memakai titik-titik data ini, persamaan berikut dipakai untuk menghitung koefisien-koefisiennya:

$$b_0 = f(x_0) \quad (2.70.a)$$

$$b_1 = f[x_1, x_0] \quad (2.70.b)$$

$$b_2 = f[x_2, x_1, x_0] \quad (2.70.c)$$

.

.

.

$$b_n = f[x_n, x_{n-1}, \dots, x_1, x_0] \quad (2.70.d)$$



dimana perhitungan fungsi dalam kurung siku adalah beda-terbagi-hingga.

Misalnya, *beda terbagi hingga pertama* dinyatakan secara umum sebagai

$$f[x_i, x_j] = \frac{f(x_i) - f(x_j)}{(x_i - x_j)} \quad (2.71)$$

*Beda terbagi hingga kedua*, yang menggambarkan perbedaan dari dua *beda terbagi hingga pertama*, diungkap secara umum sebagai

$$f[x_i, x_j, x_k] = \frac{f[x_i, x_j] - f[x_j, x_k]}{(x_i - x_k)} \quad (2.72)$$

Demikian pula, *beda terbagi hingga ke-n* adalah

$$f[x_n, x_{n-1}, \dots, x_1, x_0] = \frac{f[x_n, x_{n-1}, \dots, x_1] - f[x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_1, x_0]}{(x_n - x_0)} \quad (2.73)$$

Beda-beda ini dapat dipakai untuk menghitung koefisien-koefisien dalam Persamaan (2.70a) sampai (2.70d), yang kemudian dapat disubstitusikan ke Persamaan (2.69) untuk menghasilkan polinomial interpolasi, yang disebut polinomial *interpolasi beda-terbagi Newton*.

$$f_n(x) = f_0 + f[x_1, x_0](x - x_0) + f[x_2, x_1, x_0](x - x_0)(x - x_1) + \dots + f[x_n, x_{n-1}, \dots, x_1, x_0](x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{n-1}) \quad (2.74)$$

Titik-titik data yang dipakai dalam Persamaan (2.74) tidak perlu berjarak sama atau bahwa nilai-nilai absis perlu dalam urutan menaik. Selain itu, persamaan (2.70a) sampai (2.70d) bersifat rekursif, yakni beda-beda tingkat yang lebih tinggi disusun dari beda-beda yang lebih rendah. Sifat ini dapat dimanfaatkan pada waktu mengembangkan program komputer yang lebih efisien untuk mengimplementasikan metode tersebut.







## II.7.4. STABILITAS

### II.7.4.1 PENDAHULUAN

Sebelum peninjauan stabilitas suatu kapal, pertama-tama harus dipahami dahulu mengenai beberapa pengertian dasar pembangun analisis stabilitas yaitu kemampuan apung dan stabilitas itu sendiri.

Kemampuan apung adalah kemampuan kapal untuk mendukung gaya berat yang dibebankan dengan memakai tekanan hidrostatik yang bekerja di bawah permukaan air dan memberikan daya dukung dengan gaya angkat statis seperti pada kapal diplasemen *monohull*, dan katamaran. Untuk mencapai kondisi kesetimbangan tegak, vektor berat dan gaya apung bekerja pada garis vertikal yang sama di garis tengah kapal.

Stabilitas dapat didefinisikan sebagai kemampuan kapal untuk kembali kepada kedudukan kesetimbangan, disukai pada kondisi tegak, dalam kondisi air tenang ketika kapal mengalami gangguan dari kondisi tersebut, baik oleh gelombang maupun oleh gaya yang lain. Dalam bahasan ini yang diperhatikan adalah stabilitas melintang. Kondisi yang diperlukan untuk stabilitas adalah tinggi metasentra (MG) harus positif. Hal ini hanya berlaku pada stabilitas dengan sudut kecil ( $\leq 10^\circ$ ). Untuk perhitungan stabilitas dengan sudut yang lebih besar, digunakan metode yang berbeda. Metode Krylov, merupakan salah satu metode yang bisa dipakai [Bakri, 1983]. Variasi pada lengan pengembali (GZ) seiring dengan bertambahnya oleng memberikan indikasi yang lebih baik pada karakteristik stabilitas kapal. Berhubung dengan kriteria diatas, peraturan-



peraturan mensyaratkan bahwa sebagai tambahan untuk harga MG positif, kurva GZ harus juga memenuhi kriteria.

#### II.7.4.2 KRITERIA PENILAIAN STABILITAS

Asumsi yang dipakai dalam studi perbandingan *monohull* dan katamaran adalah displasemen sama. Perbedaan stabilitas yang cukup mempengaruhi cepat lambatnya periode *rolling*. Pada akhirnya ini akan berhubungan dengan faktorkenyamanan dan keselamatan.

Pada setiap kapal akan berlaku bahwa stabilitas kapal tergantung pada 2 faktor yaitu faktor bentuk (dipengaruhi oleh letak titik B) dan faktor berat (dipengaruhi oleh letak titik G) [Bakri, 1983].

Syarat penting dalam persamaan stabilitas adalah :

1. Berat kapal ( $W$ ) sama dengan besarnya gaya tekan ke atas ( $\gamma V$ ). Yang berubah adalah bentuk kapal yang berada dalam air, sehingga titik B berpindah menjadi  $B'$ .
2. Titik vektor gaya angkat ke atas ( $B$ ) harus segaris dengan titik berat kapal ( $G$ )
3. Titik  $G$  harus berada di bawah titik  $B$  ( $MG = \text{positif}$ )

Dari gambar 2.11, maka persamaan umum dari stabilitas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S_a = W \cdot MG \cdot \sin \alpha \quad (2.75)$$

$$D_a = W \cdot MG \cdot (1 - \cos \alpha) \quad (2.76)$$

$$MG = MB + KB - KG \quad (2.77)$$

Untuk monohull

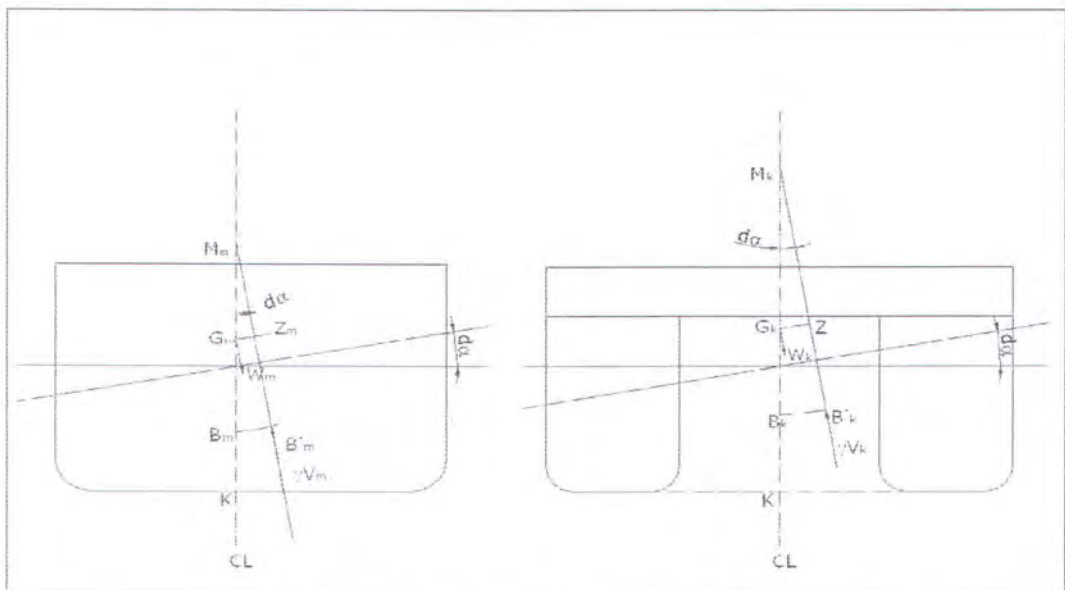
$$MG_m = MB_m + KB_m - KG_m \quad (2.78)$$

Untuk Katamaran

$$G_k = G_m \text{ dan } G_1 = G_2 ; \text{ sehingga } G_m = G_1 + G_2 \quad (2.79)$$

$$MG_k = MB_k + KB_k - KG_k \quad (2.80)$$

Pada katamaran, harga  $MG$  relatif cukup besar. Hal ini disebabkan tiap lambungnya akan memberikan gaya tekan ke atas. Periode *rolling* katamaran akan lebih cepat disebabkan jarak titik metasentra terhadap titik berat kapal ( $MG$ ) lebih tinggi dibanding dengan *monohull*. Harga  $MG$  yang tinggi sebagian besar hasil kontribusi dari struktur *bridge* yang berada diatas air serta relatif kecilnya bagian lambung kapal yang tercelup air.



Gambar 2.11. Sketsa titik-titik penting pada saat kapal monohull dan katamaran mengalami oleng

### II.7.4.3 PERIODE ROLLING DAN SUDUT ROLLING

Periode *rolling* dan sudut *rolling* dapat dihitung dengan menggunakan formula yang dikeluarkan oleh IMO (International Maritime Organization).





Formula ini valid untuk seluruh kapal. Asumsi dasar yang digunakan oleh IMO bahwa perhitungan tersebut dilakukan pada kondisi air tenang tak bergelombang.

Formula tersebut dapat digambarkan sebagai berikut [Lewis, 1988]:

$$T_{(Periode-Rolling)} = \frac{2.C.B}{\sqrt{MG}} (\text{sec}) \quad (2.81)$$

$$\theta_{(Sudut-Rolling)} = 109.k.x_1.x_2.\sqrt{r.s} \quad (2.82)$$

Dimana:

$$C : 0,373 + 0,023 (B/T) - 0,043(L/100) \quad (2.83)$$

B : Lebar moulded [m]

T : Sarat rata-rata [m]

L : Panjang garis air [m]

MG : Tinggi metasentra [m]

k : 1 ; untuk kapal round bilge tanpa bar keel

$x_1$  : Faktor seperti pada tabel 2.1

$x_2$  : Faktor seperti pada tabel 2.2

s : Faktor seperti pada tabel 2.3

$$r : 0,73 + 0,6 (KG-T)/T \quad (2.84)$$

KG : Tinggi titik berat kapal

Dalam sebuah desain awal, harga KG dan KM dapat didekati dengan rumus pendekatan. Hal ini dilakukan karena harga sebenarnya tidak dapat diperoleh dengan cepat dan praktis tanpa melakukan percobaan *inclining test* dan perhitungan yang seksama.



Berikut persamaan yang digunakan dalam perhitungan KG [Kupras, 1971] dan KM untuk *monohull* [Schneekluth, 2000]:

$$KM = \frac{B}{\sqrt{C_m}} \cdot \left( 0,078 \cdot \frac{B}{T} + \left( \frac{0,525}{B/T} \right) \right) \cdot \left( \frac{2 \cdot C_w}{1 + 2 \cdot C_b} \right)^{2/3} \quad (2.85)$$

$$KG = 0,01 \cdot H \cdot \left( 46,6 + 0,135 \cdot (0,81 - C_b) \cdot \left( \frac{L}{H} \right)^2 \right) + 0,008 \cdot H \cdot \left( \frac{L}{B} - 6,5 \right) \quad (2.86)$$

sedang untuk katamaran harga BM dan KB yang digunakan dalam perhitungan stabilitas adalah sebagai berikut [Shimizu, 1977]:

$$KB = \frac{C_{w_d}}{C_{w_d} + C_{b_d}} \cdot T \quad (2.87)$$

$$BM = \frac{B_d}{T \cdot C_{b_d}} \cdot C_{w_d} \cdot \left( 0,25 \cdot \left( \frac{L}{B_d} \right)^2 + 0,06 \right) \quad (2.88)$$

dimana :

KB : tinggi titik buoyancy terhadap lunas kapal

$C_{w_d}$  : koefisien garis air dari demihull

$C_{b_d}$  : koefisien blok dari demihull

$B_d$  : lebar demihull

Tabel 2.1. Faktor  $x_1$

B/T	$x_1$
$\leq 2,4$	1,0
2,5	0,98
2,6	0,96
2,7	0,95
2,8	0,93
2,9	0,91
3,0	0,90
3,1	0,88
$\geq 3,5$	0,80

Tabel 2.2. Faktor  $x_2$

$C_b$	$x_2$
$\leq 0,45$	0,75
0,82	0,28
0,89	0,89
0,95	0,95
0,65	0,97
$\geq 0,75$	1,0

Tabel 2.3. Faktor  $s$

Tr	$s$
$\leq 6$	0,1
7	0,098
8	0,093
12	0,065
14	0,055
16	0,044
18	0,038
$\geq 20$	0,035



# Bab III



---

## *Pemrograman dan Validasi Program*





## BAB III

### PEMROGRAMAN DAN VALIDASI PROGRAM

#### III.1. UMUM

Pemrograman yang dilakukan dalam tugas akhir ini meliputi beberapa bagian proses maupun sub proses yang saling berkaitan satu sama lain. Sesuai dengan yang telah tercantum pada Bab I, bahwa untuk menyelesaikan permasalahan perbandingan karakteristik hidrodinamika katamaran dan *monohull* akan digunakan bahasa pemrograman Borland Delphi 5.

Untuk proses validasi terhadap hasil perhitungan akan digunakan data yang diambil dari literatur yang tersedia. Validasi terhadap besaran luasan *sectional area* dan *sectional beam* dari lambung kapal cepat Series-64 serta perhitungan tahanan gesek dan tahanan sisa dari *monohull* menggunakan data dari *Series-64 Resistance Experiment on High-Speed Displacement Forms* [Yeh, 1965]. Proses validasi untuk komponen tahanan interferensi pada katamaran menggunakan hasil percobaan model yang dilakukan oleh Insell, dkk. (1992) dan Molland, dkk. (1995). Validasi untuk perhitungan karakteristik *seakeeping* diambil dari literature *Dynamic of Marine Vehicles* [Bhattacharrya, 1978].

#### III.2. TENTANG BAHASA PEMROGRAMAN BORLAND DELPHI 5

Penyusunan program dalam tugas akhir ini menggunakan Borland Delphi 5. Delphi merupakan salah satu perangkat pengembang untuk membangun sebuah aplikasi berbasis sistem Operasi Windows 9x atau Windows NT. Bahasa pemrograman yang dipakai adalah Object Pascal. Bahasa pemrograman Delphi



sendiri merupakan turunan dari bahasa Turbo Pascal yang diluncurkan tahun 1983 oleh Borland International Incorporation.

Penggabungan turbo Pascal dengan Turbo Pascal for Windows, pada tahun 1992, menghasilkan suatu bahasa pemrograman baru yang diberi nama Borland Pascal versi 7.0. Pada awal peluncurannya, bahasa pemrograman ini masih sangat sulit digunakan terutama pengguna pemula. Hal ini mendorong pihak Borland untuk membuat bahasa pemrograman visual yang berbasis bahasa Pascal. Hasilnya, pada tahun 1995, Borland Delphi diluncurkan ke pasar pengguna komputer. Sampai sekarang telah dirilis Delphi versi 5.0.

Lahirnya bahasa pemrograman Delphi tidak lepas dari pengaruh maraknya trend pemrograman visual beberapa tahun belakangan ini. Produsen peranti lunak berlomba-lomba mengembangkan bahasa pemrograman yang semakin memudahkan para pemakainya. Banyak pekerjaan yang semula harus diselesaikan oleh programmer kini diambil alih oleh piranti lunak, sehingga waktu yang diperlukan untuk menyusun aplikasi menjadi lebih singkat. Konsep ini dikenal dengan *Rapid Application Development* (RAD).

Selain waktu pemrograman yang lebih singkat, dengan menggunakan Delphi, aplikasi dapat dibuat secara lebih menyenangkan. Delphi menyediakan bermacam-macam komponen interface aplikasi dalam jumlah yang cukup besar dengan pilihan yang lebih luas. Pengguna bahasa pemrograman Delphi tidak perlu menyusun sendiri kode pemrograman untuk menciptakan komponen-komponen yang dibutuhkan dalam sebuah aplikasi. Dengan memanfaatkan komponen-komponen tersebut, pengguna Delphi dapat merancang suatu aplikasi termasuk skenario aplikasi antara pengguna program dengan objek program sehingga suatu





aplikasi program yang dirancang dapat memberikan hasil perhitungan yang diharapkan penggunaanya.

### III.3. TEKNIK PEMROGRAMAN

Secara umum, struktur pemrograman pada bahas pemrograman Delphi terdiri dari program utama dan unit-unit yang membangun program secara keseluruhan. Struktur pemrograman ini masih mengikuti pendahulunya yaitu Turbo Pascal. Dalam program utama tersimpan kode program proyek yang dibuat. Ketika program dieksekusi, maka program utama mengambil *procedure* atau *function* yang diperlukan pada saat itu dari unit-unit pendukungnya.

Sebelum menginjak pembahasan lebih lanjut, ada baiknya di sini dijelaskan tentang *Form*. *Form* dalam Delphi merupakan *window* yang menjadi komponen dasar dari aplikasi yang dibuat. Selama perancangan dan penyusunan, pengguna Delphi meletakkan berbagai macam komponen ke dalam *Form*, membentuk *interface* program aplikasi. *Form* dapat berfungsi sebagai *window* bagi program aplikasi atau sebagai kotak dialog. Sebuah program aplikasi tersusun dari sebuah atau lebih komponen *Form*.

*Form* tersimpan dalam dua buah *file*, yaitu:

- File Form (\*.dfm), menyimpan *image binary* dari *Form*. Semua pengembangan yang berkaitan dengan *interface* program seperti perubahan properti *Form* dan komponen-komponen didalamnya tersimpan dalam *file* ini.
- File Unit (\*.pas), menyimpan *source code* dari *file* \*.dfm. Di dalam *file* \*.pas ini pengguna Delphi menuliskan kode *even handler* yang





menentukan reaksi *Form* dan komponen didalamnya saat aplikasi dijalankan.

Hal selanjutnya yang perlu diketahui adalah mengenai *Unit*. *Unit* adalah blok utama pembentuk aplikasi Delphi. *File Unit* ini berisikan *source code* bagi elemen aplikasi Delphi. Ada *file Unit* yang merupakan pasangan dari *file Form \*.dfm* sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, ada pula *file Unit* milik suatu proyek. Namun dapat juga dibuat sebuah *file unit* yang dapat dipakai beberapa proyek sekaligus. *File unit* ini disimpan dalam tipe *file \*.pas*

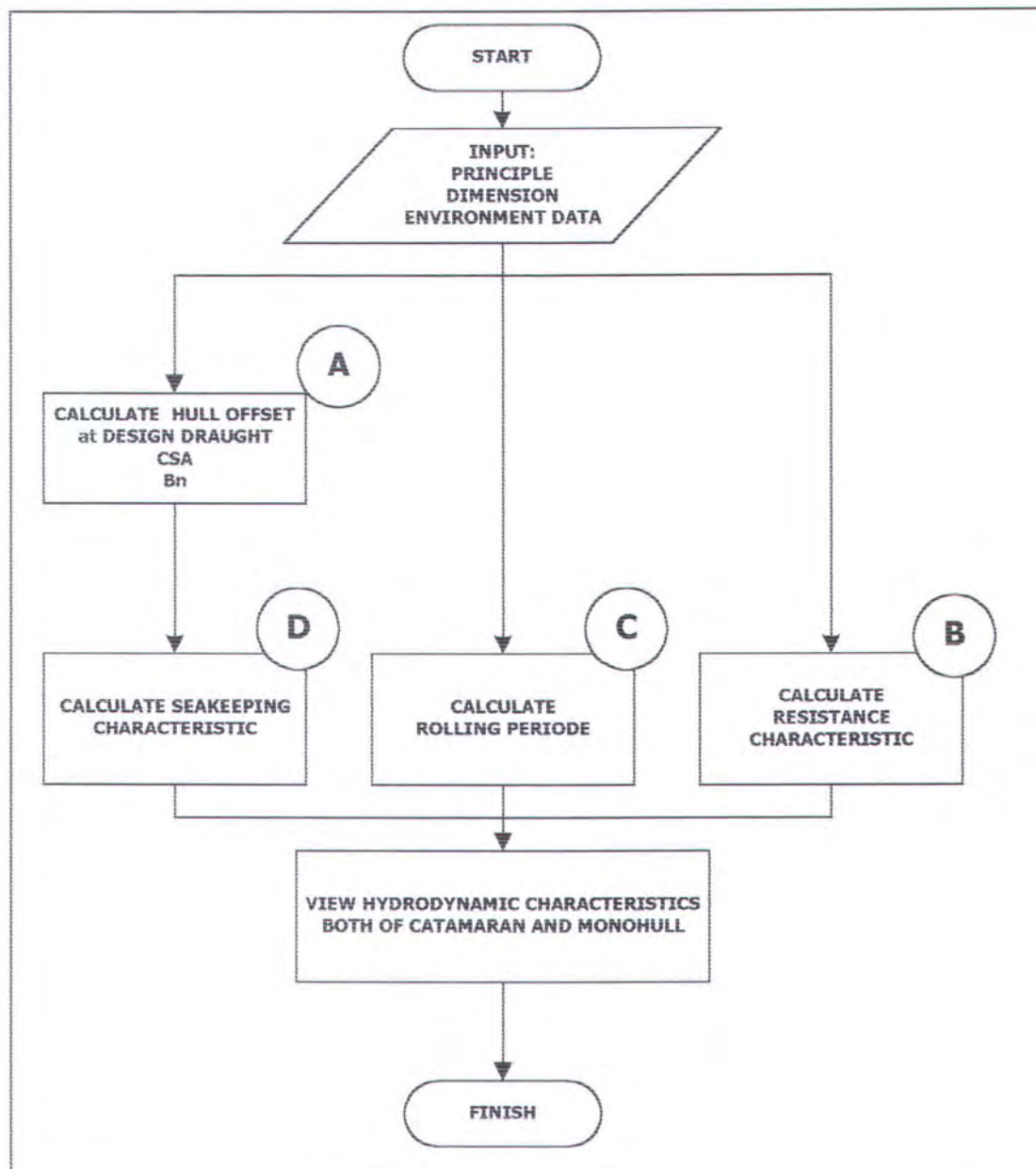
Setiap membuat sebuah program aplikasi, Delphi akan membentuk sebuah *file Project* dan selalu memperbaharainya selama proses pembuatan sebuah proyek. *File* inilah yang mengontrol suatu aplikasi Delphi, karenanya *file Project* disebut juga sebagai program utama dari aplikasi. *File Project* dapat dikenali dari ekstensinya yaitu *\*.dpr*. Di dalamnya tercatat unit-unit dan *form-form* yang digunakan oleh suatu proyek.

#### III.4. PENYUSUNAN PROGRAM KOMPUTER

Kerangka kerja proses yang digunakan pada penyelesaian permasalahan terdiri dari perhitungan besaran sekunder yaitu Displasemen, Wetted Surface Area (WSA), Longitudinal Centre of Gravity (LCG), serta luasan *sectional area* dan *sectional beam* dari lambung kapal cepat Series-64, perhitungan komponen tahanan katamaran dan *monohull*, Metacentre Height (MG), periode *rolling*, perhitungan kopel *heaving* dan *pitching* serta karakteristik seakeeping yang dialami oleh kapal. Untuk selanjutnya, setelah diperoleh seluruh parameter dan variabel serta batasan yang dibutuhkan maka proses perhitungan karakteristik



hidrodinamika katamaran dan *monohull* dengan menggunakan program komputer dapat dilakukan. Untuk lebih jelasnya dapat diamati pada diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir gambaran umum proses penyelesaian masalah



### III.4.1. PENENTUAN UKURAN UTAMA KAPAL

Penentuan kapal yang dijadikan 'input', baik katamaran maupun *monohull* harus sesuai dengan batasan yang telah ditentukan oleh Series-64. Batasan teknis yang dimaksud adalah :

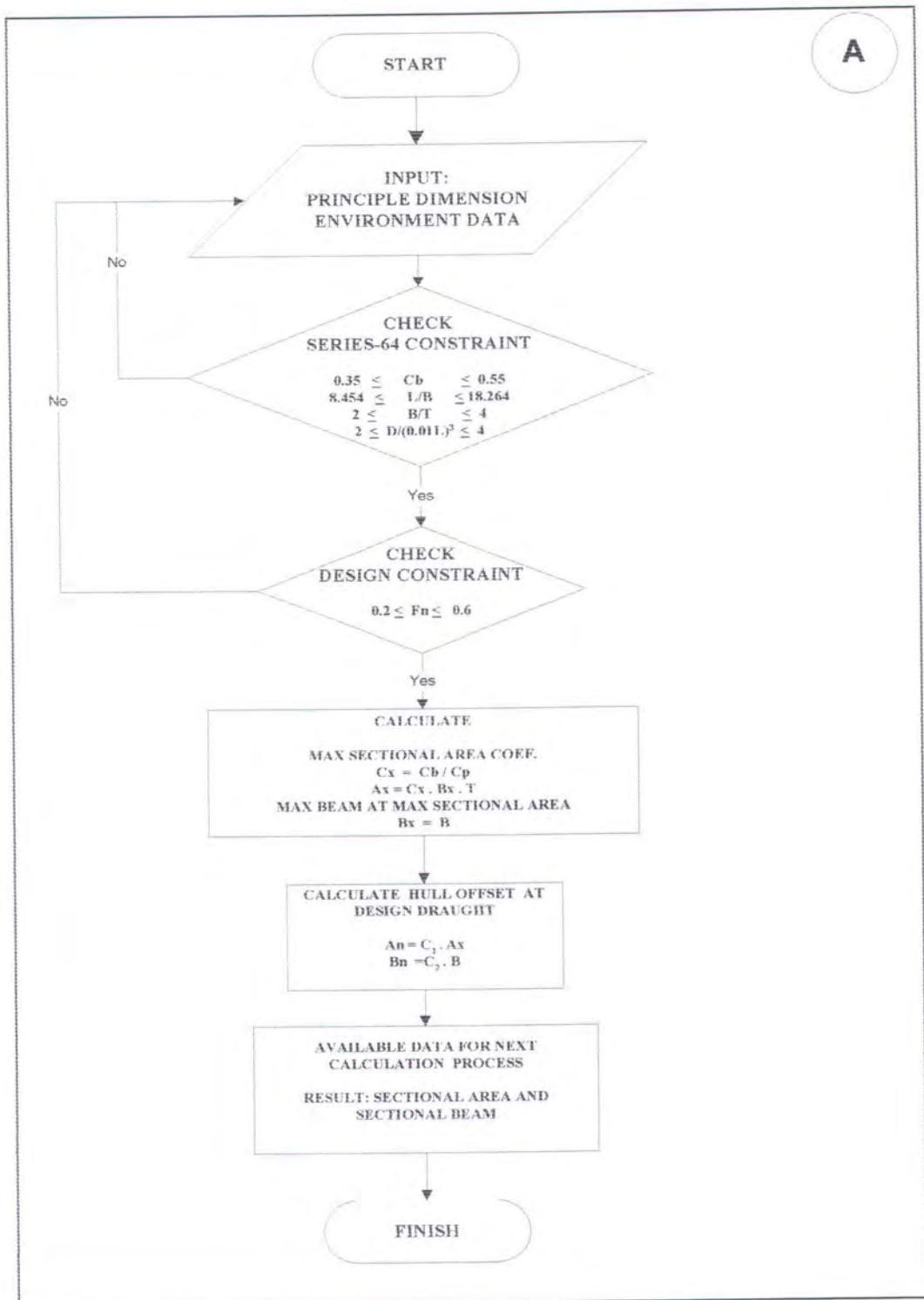
1.  $0,35 \leq C_b \leq 0,55$
2.  $8,454 \leq L/B \leq 18,264$
3.  $2 \leq B/T \leq 4$
4.  $15 \leq \Delta/(0,01 L)^3 \leq 55$
5.  $0,2 \leq F_n \leq 0,6$

Dengan tujuan untuk memperoleh perbandingan katamaran dan *monohull* yang setara, maka batasan tambahan berupa displasemen dan Froude Number ( $F_n$ ) yang sama dipakai dalam penentuan ukuran utama model kapal. Contoh model ukuran utama kapal katamaran dan *monohull* dapat diamati pada lampiran.

Proses komputasi yang berlangsung untuk perhitungan karakteristik seakeeping terhadap model ukuran kapal yang ada membutuhkan masukan berupa lebar dan luas tiap station. Kebutuhan ini dapat diperoleh dengan jalan pembacaan data model lambung Series-64 dan mencari korelasi lebar tiap station dengan lebar maksimum pada station dengan luas area maksimum dapat dilakukan. Dengan cara yang sama komponen luasan tiap station dapat diperoleh. Data bentuk lambung kapal telah terdapat pada literatur tentang Series-64 [Yeh, 1965]. Sehingga kelengkapan data untuk pemrosesan karakteristik seakeeping masing-masing model dapat terpenuhi. Grafik koefisien luasan CSA ( $C_1$ ) dan lebar tiap station ( $C_2$ ) yang dimaksud dapat dilihat pada lampiran di bagian akhir tugas akhir



ini. Untuk lebih jelasnya mengenai pemrosesan bentuk offset body plan pada sarat rencana dapat diamati pada diagram alir pada Gambar 3.2.

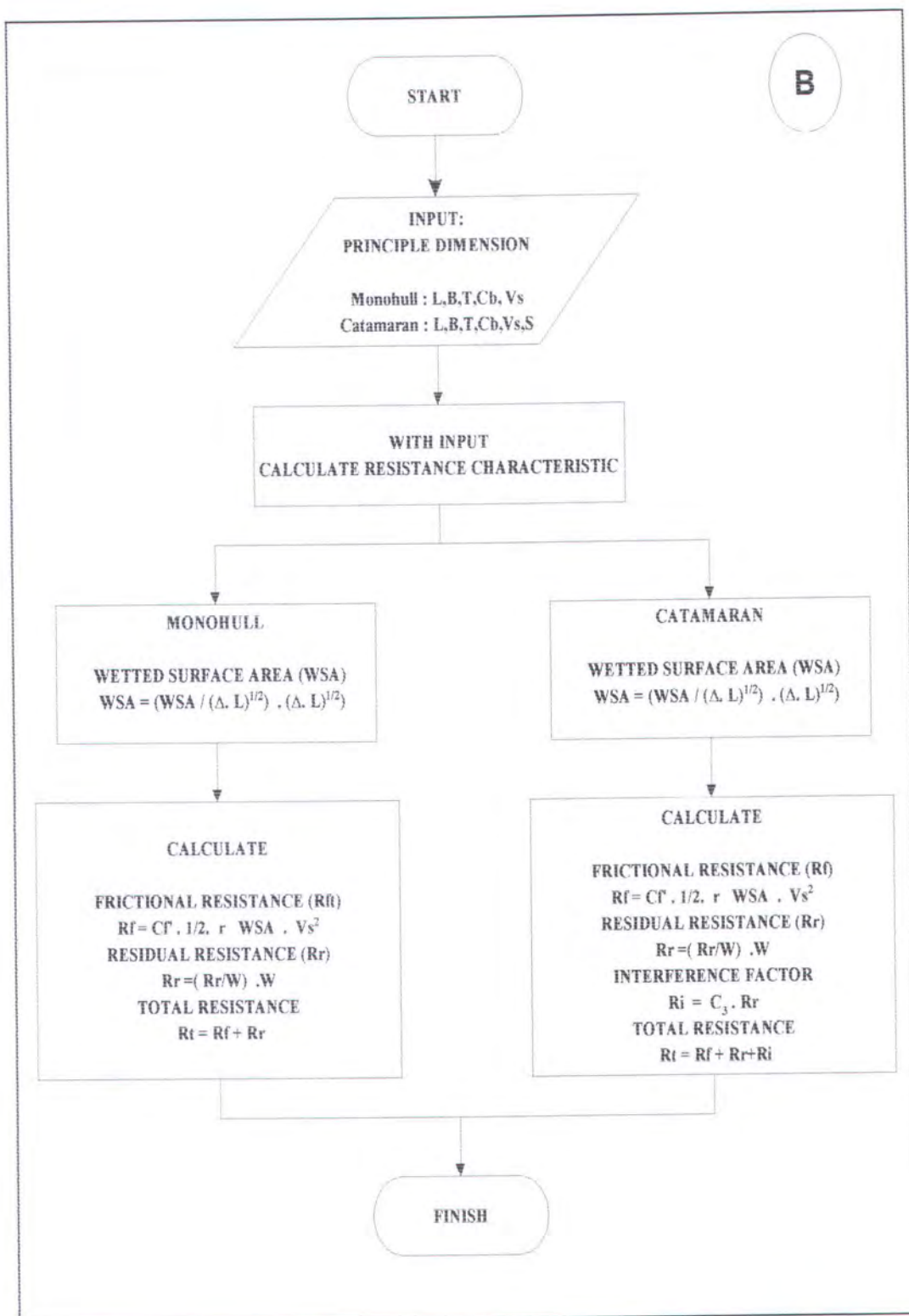


Gambar 3.2. Diagram alir penentuan ukuran utama serta komponen lebar dan luas station setempat



### III.4.2. KARAKTERISTIK TAHANAN

Pada bagian ini akan dilakukan proses perhitungan tahanan total untuk masing-masing model katamaran dan *monohull*. Fokus pembahasan dari bagian ini adalah tahanan gesek dan tahanan sisa. Selain itu, karakteristik tahanan interferensi yang hanya terjadi pada katamaran dimasukkan sebagai salah satu komponen tahanan katamaran. Tujuan utama memasukkan faktor ini agar besaran tahanan total untuk masing-masing model menjadi lebih realistis. Diagram alir untuk karakteristik tahanan dapat diamati pada Gambar 3.3.

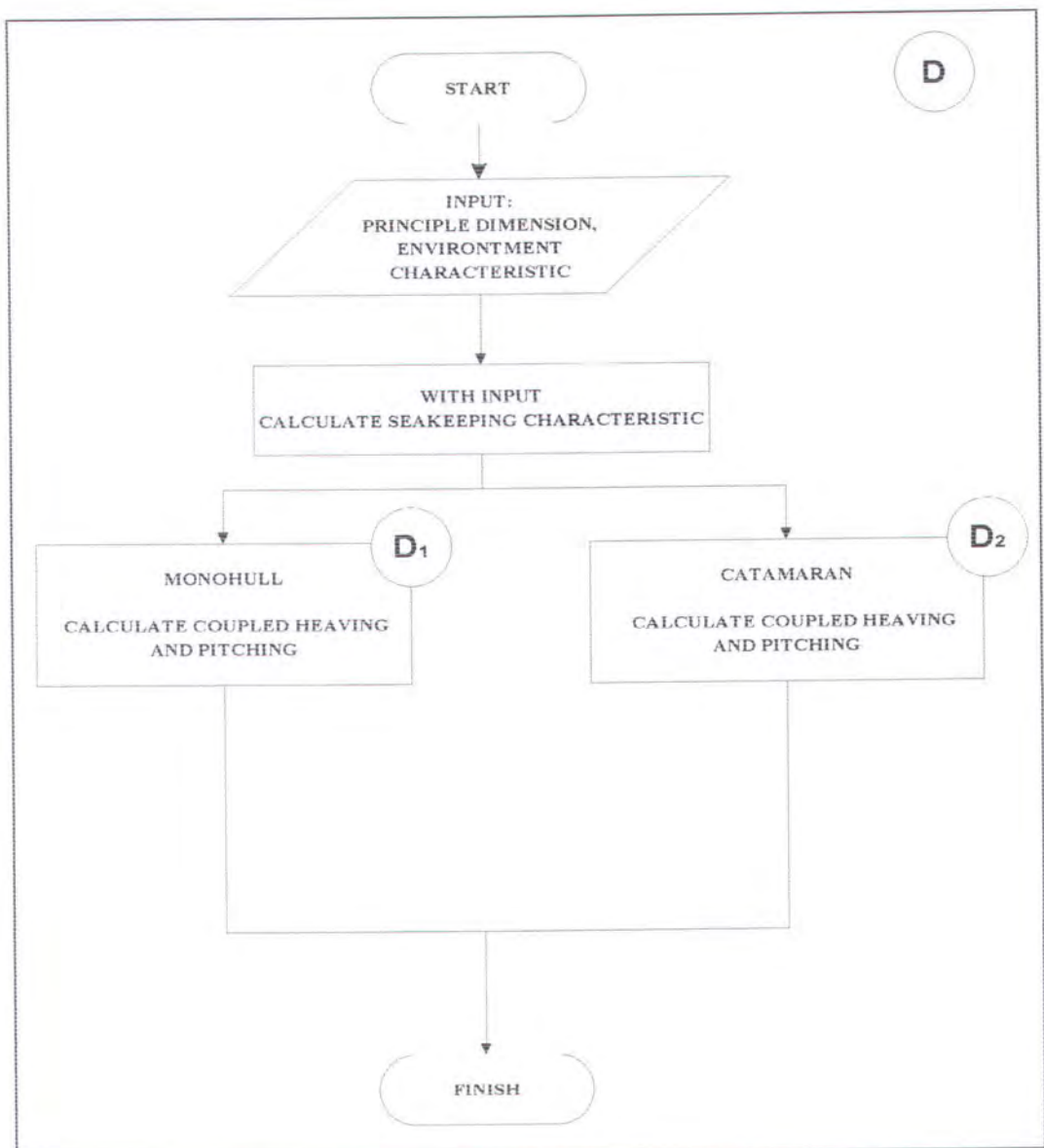


Gambar 3.3. Diagram alir perhitungan tahanan katamaran dan monohull



### III.4.3. KARAKTERISTIK SEAKEEPING

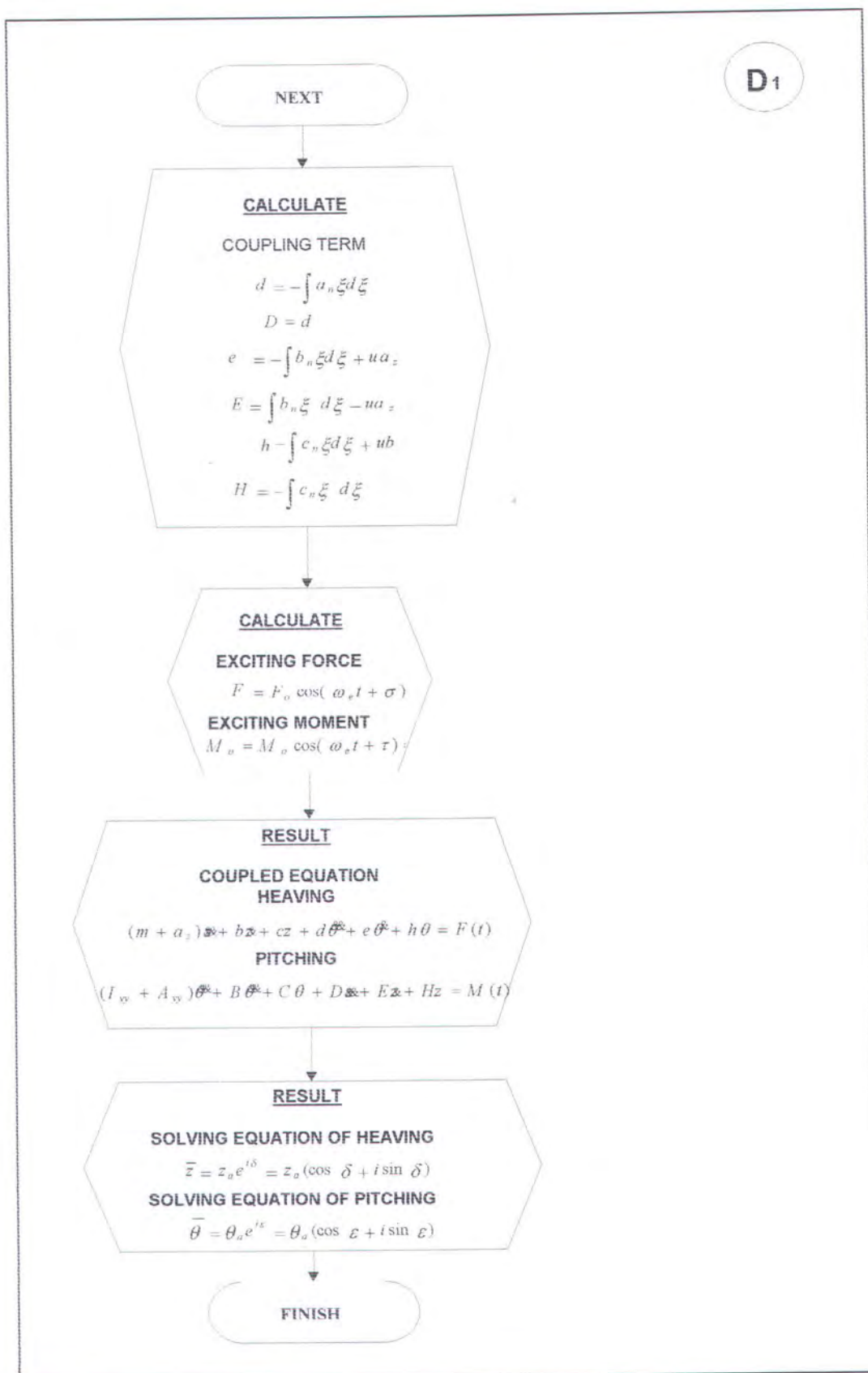
Pada bagian ini akan dilakukan proses perhitungan karakteristik seakeeping masing-masing model ukuran utama yang ada. Bagian-bagian yang menjadi pusat pembahasan adalah kopel gerakan *heaving* dan *pitching* pada katamaran dan *monohull*. Diagram alir untuk karakteristik seakeeping dapat diamati pada Gambar 3.4. untuk detail masing-masing proses dapat diamati pada Gambar 3.5 dan 3.6.



Gambar 3.4. Diagram alir perhitungan kopel heaving dan pitching

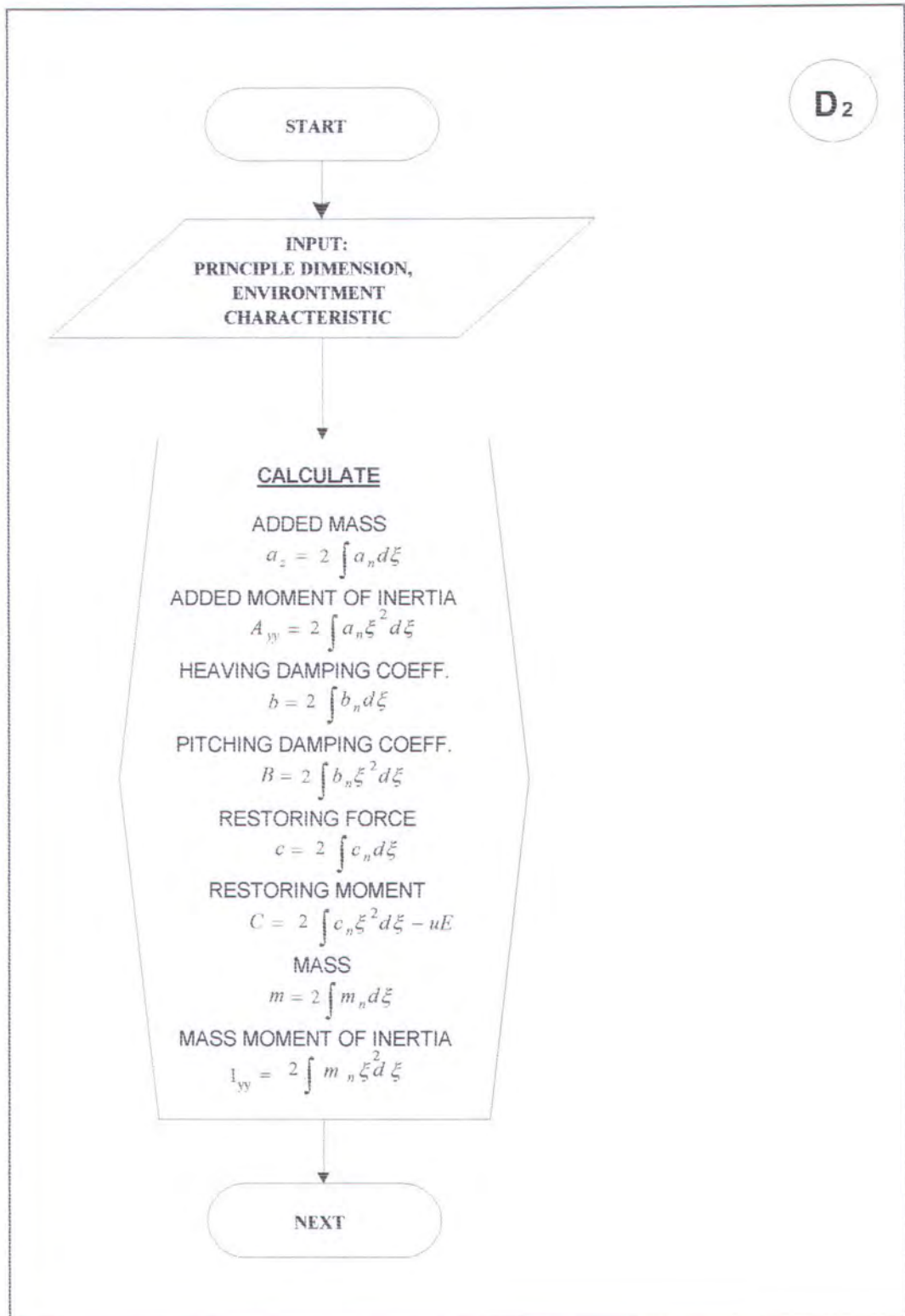


Gambar 3.5. Diagram alir perhitungan kopel heaving dan pitching untuk monohull

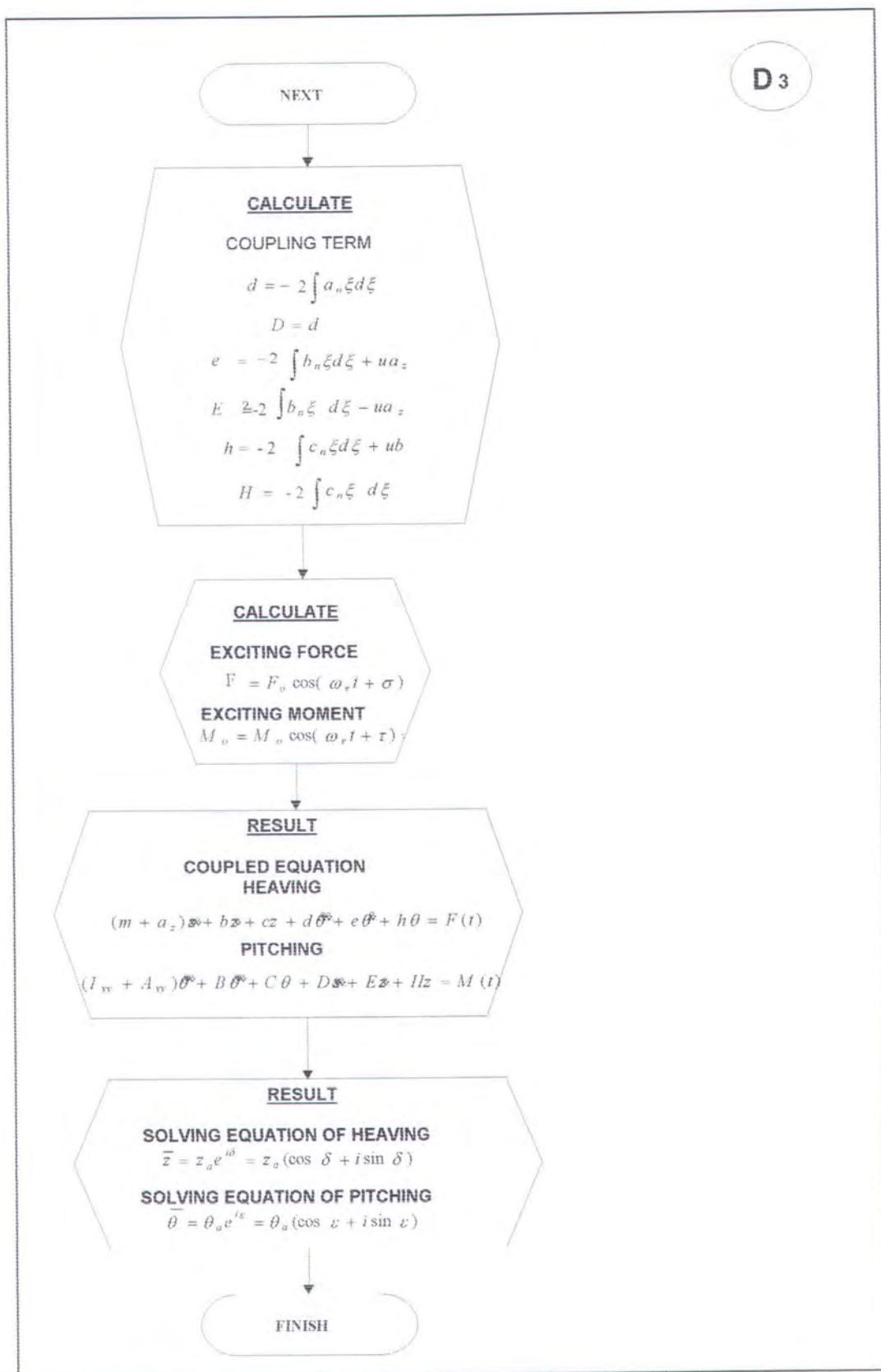


Gambar 3.5. Diagram alir perhitungan kopel heaving dan pitching untuk monohull (lanjutan)





Gambar 3.6. Diagram alir perhitungan kopel heaving dan pitcing untuk katamaran

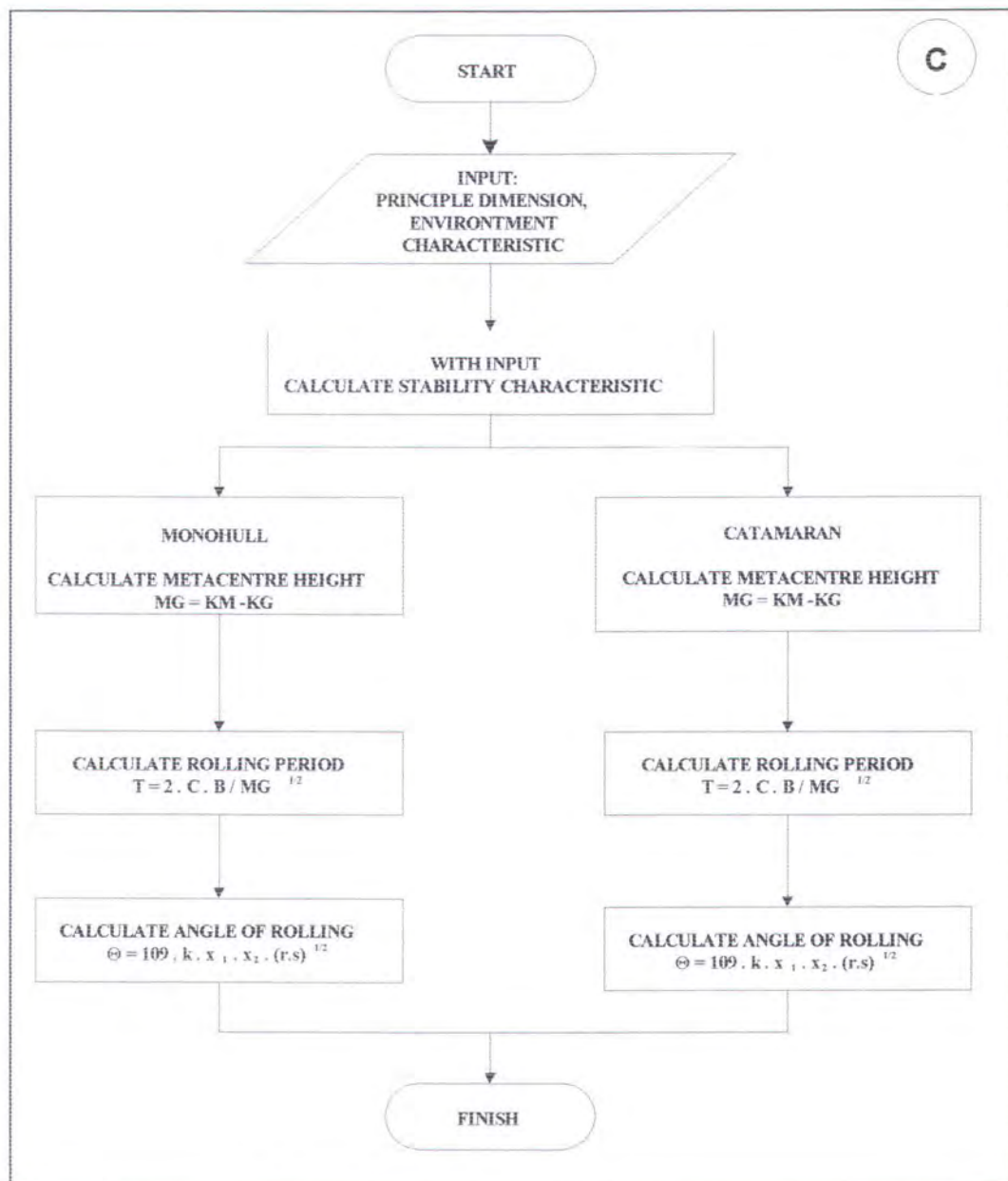


Gambar 3.6. Diagram alir perhitungan kopel heaving dan pitcing untuk katamaran (lanjutan)



### III.4.4. KARAKTERISTIK STABILITAS

Pada bagian ini akan dilakukan proses perhitungan karakteristik stabilitas untuk masing-masing model katamaran dan *monohull* yang ada. Bagian-bagian yang menjadi fokus pembahasan adalah sudut *rolling* dan periode *rolling* pada kedua model. Diagram alir untuk karakteristik stabilitas dapat diamati pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Diagram alir perhitungan periode rolling dan sudut rolling untuk monohull dan katamaran



### III.5. PANDUAN PENGGUNAAN PROGRAM

Sebagaimana tujuan yang telah tercantum pada bagian pendahuluan, maka hasil akhir dari tugas akhir ini adalah sebuah kerangka kerja perangkat lunak yang ditulis dalam bahasa Borland Delphi 5. setelah proses yang ada dalam diagram alir diterjemahkan menjadi bahasa pemrograman maka program dapat dimanfaatkan untuk menyelesaikan permasalahan analisis hidrodinamika katamaran dan *monohull* berdasarkan ukuran utama yang diberikan.

Monohull		
Lpp	63.27	m
B mid	7.498	m
T Loaded	3.744	m
H mid	4.52	m
Cb	0.55	
Vs	24.217	Knots

Catamaran		
Lpp	50.22	m
B demihull	5.943	m
T Loaded	2.972	m
H mid	3.59	m
Cb	0.55	
Vs	21.575	Knots
Baa	15.066	m

Environment Data		
Heading Angle	180	Degree
Lw	63.27	m
L	3.1635	m

Gambar 3.8. Tampilan jendela utama yang menanyakan informasi ukuran utama kapal, data lingkungan perairan dan proses perhitungan yang diinginkan.

Program terdiri dari sebuah jendela utama. Jendela utama ini merupakan input manual yang berupa informasi dimensi utama kapal dan informasi kondisi lingkungan perairan. Form memiliki beberapa menu serta didalamnya terdapat



beberapa Tab\_Sheet yang menunjukkan hasil perhitungan dan karakteristik katamaran maupun *monohull*. Tab\_Sheet ini akan menjalankan proses perhitungan ketika tombol Event\_Handler ditekan. Terdapat tiga Event\_Handler yaitu Event\_Handler\_Monohull untuk menganalisis karakteristik *monohull*, Event\_Handler\_Catamaran untuk memulai analisa karakteristik katamaran dan Event\_Handler\_Exit untuk mengakhiri penggunaan program. Untuk lebih jelasnya dapat diamati pada Gambar 3.8.

Hydrodynamic Analysis for Catamaran-Monohull			
SHIP PROPERTIES			
<b>Monohull</b>			
Displacement	1000	Tons	
WSA	384.191	m <sup>2</sup>	
LCB	-6.546	m	
KG	4.58	m	
Rolling Period	7.746	sec	
Angle of Rolling	22.417	Degree	
<b>Catamaran</b>			
Displacement	1000.026	Tons	
WSA	1490.769	m <sup>2</sup>	
LCB	-8.063	m	
S	36.873	m	
KG	5.985	m	
Rolling Period	4.979	sec	
Angle of Rolling	24.933	Degree	

Gambar 3.9. Tampilan Tab\_Sheet\_Ship\_Properties

Program ini menggunakan tujuh Tab\_Sheet yang masing-masing mempunyai fungsi yang berbeda. Berikut gambaran tentang Tab\_Sheet tersebut:

1. Tab\_Sheet\_Input\_Data, Pada Tab\_Sheet ini, dimasukkan nilai- nilai sebagai inputan dimensi utama kapal untuk perhitungan selanjutnya.





Inputan tersebut dapat dibagi menjadi Radio\_Box\_Monohull, Radio\_Box\_Katamaran, dan Radio\_Box\_Environment\_Data.

2. Tab\_Sheet\_Ship\_Properties, berisi hasil perhitungan displasemen, luas permukaan basah (WSA), letak titik buoyancy (LCB), tinggi titik berat (KG), periode *rolling*, dan sudut *rolling*. Pada Radio\_Box\_Catamaran, terdapat informasi tambahan mengenai jarak antar garis tengah demihull.
3. Tab\_Sheet\_BodyPlan\_Offset, menampilkan lebar, sarat dan luas tiap station. Informasi ini selanjutnya dimanfaatkan untuk proses selanjutnya yaitu perhitungan gerak kapal. Penomoran station menyesuaikan dengan aturan yang digunakan oleh Series-64, yaitu station No.0 merupakan station FP dan kemudian berurutan kebelakang sampai dengan station No.20 yang merupakan buritan kapal.
4. Tab\_Sheet\_Resistance, memberikan hasil perhitungan dari tahanan masing-masing tipe kapal. Komponen tahanan yang telaah yaitu tahanan gesek, tahanan sisa dan tahanan total. Komponen tambahan yang tampilkan pada Radio\_Box\_Catamaran yaitu tahanan interferensi. Hal ini ditujukan agar analisis tahanan untuk katamaran menjadi lebih realistis.
5. Tab\_Sheet\_Eq.of\_Motion, menampilkan seluruh koefisien dari persamaan kopel *heaving* dan *pitching*.





Hydrodynamic Analysis for Catamaran-Monohull

INPUT DATA | SHIP PROPERTIES | BODY PLAN OFFSET | RESISTANCE | Eq. of MOTION | 2nd Eq. of MOTION | GRAPHICS |

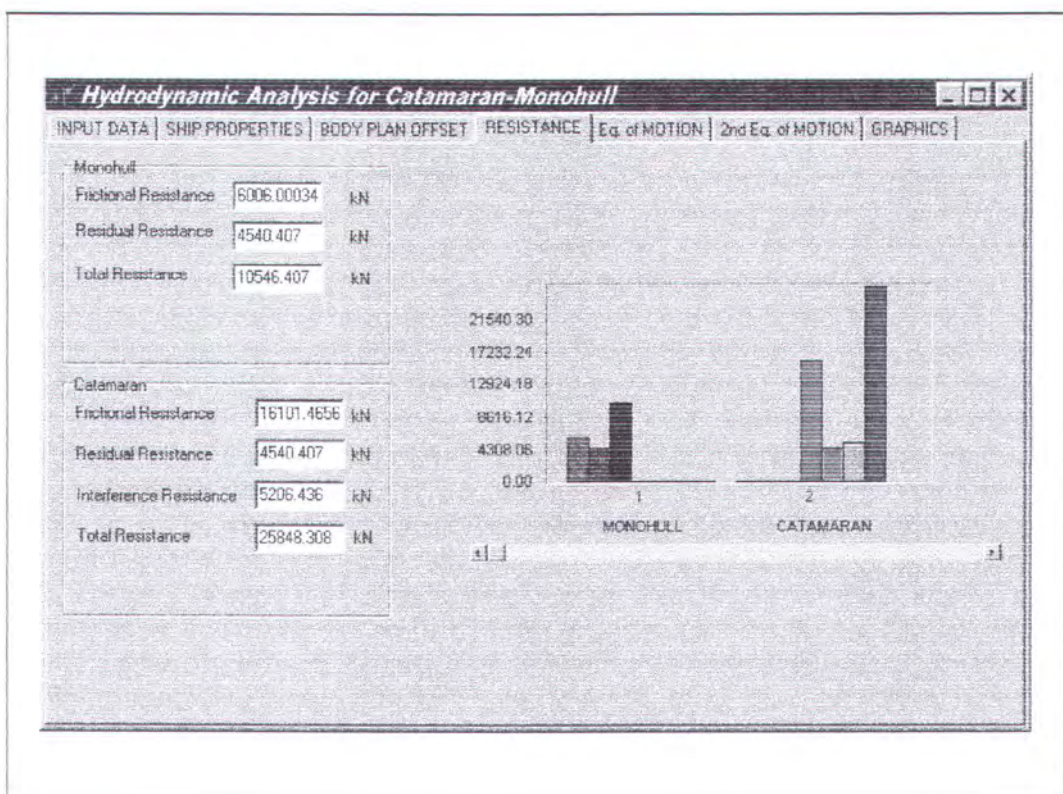
Monohull

No.	ST	Bn	Tn	Sn
0	0		3.744	0
1	0.899		3.744	1.958
2	1.747		3.744	4.242
3	2.598		3.744	6.527
4	3.444		3.744	9.464
5	4.254		3.744	12.17
6	4.992		3.744	14.685
7	5.638		3.744	17.054
8	6.19		3.744	19.253
9	6.649		3.744	21.250
10	7.009		3.744	22.908
11	7.273		3.744	24.084
12	7.488		3.744	24.475
13	7.681		3.744	23.75
14	7.788		3.744	22.125
15	7.740		3.744	19.959
16	7.588		3.744	17.459
17	7.344		3.744	14.977
18	7.049		3.744	12.89
19	6.753		3.744	11.302
20	6.41		3.744	9.953

Catamaran

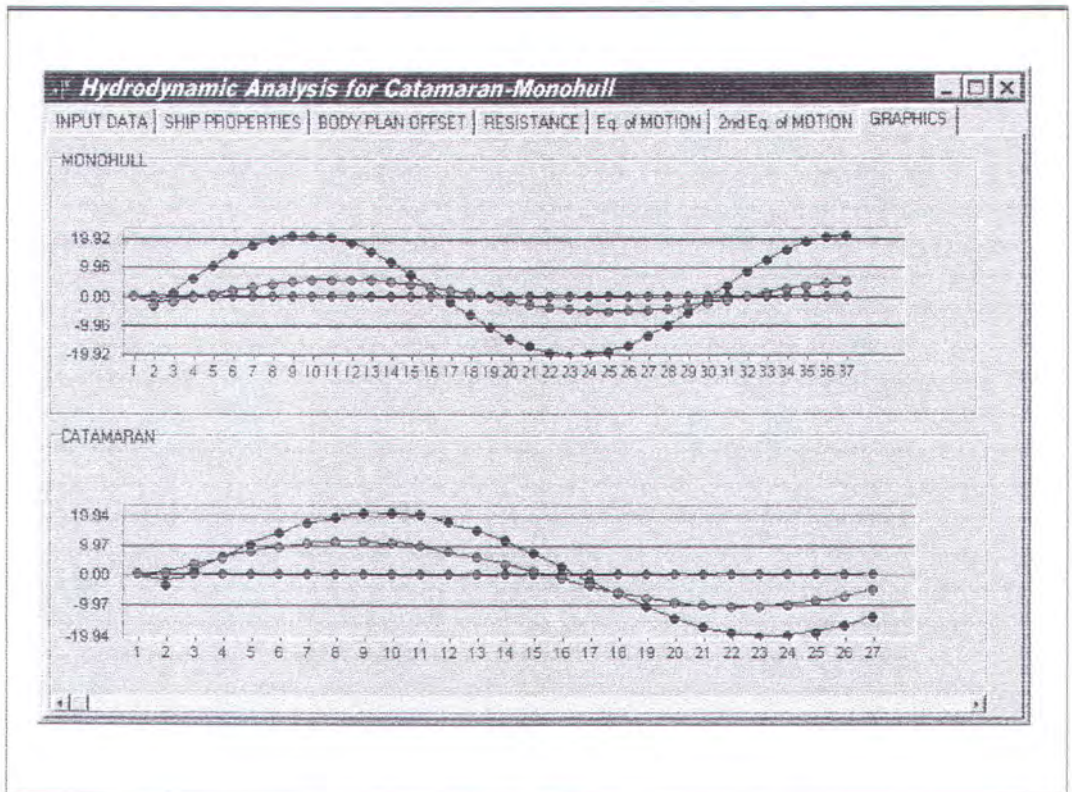
No.	ST	Bn	Tn	Sn
0	0		2.972	0
1	0.713		2.972	1.234
2	1.387		2.972	2.673
3	2.062		2.972	4.112
4	2.734		2.972	5.962
5	3.376		2.972	7.667
6	3.962		2.972	9.252
7	4.475		2.972	10.744
8	4.913		2.972	12.13
9	5.277		2.972	13.393
10	5.563		2.972	14.433
11	5.772		2.972	15.173
12	5.943		2.972	15.419
13	6.096		2.972	14.963
14	6.181		2.972	13.939
15	6.149		2.972	12.574
16	6.022		2.972	10.999
17	5.829		2.972	9.436
18	5.594		2.972	8.121
19	5.36		2.972	7.12
20	5.087		2.972	6.271

Gambar 3.10. Tampilan Tab\_Sheet\_Bodyplan\_offset



Gambar 3.11. Tampilan Tab\_Sheet\_Resistance





Gambar 3.12. Tampilan Tab\_Sheet\_Graphics

6. Tab\_Sheet\_2\_nd\_Eq.of\_Motion, berisi harga frekuensi encountering, amplitudo *heaving* dan *pitching* ( $z_a$  dan  $\theta_a$ ) serta sudut fasenya ( $\delta$  dan  $\epsilon$ ). Harga-harga tersebut kemudian dimasukkan dalam persamaan yang dituliskan di atas Radio\_Box.
7. Tab\_Sheet\_Graphics, menampilkan kurva dari persamaan yang ada pada Tab\_Sheet\_2\_nd\_Eq.of\_Motion. Kurva persamaan gelombang dimasukkan pula untuk mengetahui kondisi perairan yang dimaksud.



### III.6. VALIDASI HASIL PEMROGRAMAN

Validasi hasil pemrograman perlu dilakukan agar dapat diketahui tingkat kesalahan dan keabsahan dari hasil pemrograman. Validasi dilakukan dengan jalan membandingkan hasil perhitungan dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya dimana hasilnya sudah pernah diuji keabsahannya.

Pada hasil pemrograman ini akan dilakukan validasi dengan mengambil data dan hasil perhitungan yang ada sesuai dengan topik yang ditelaah. Validasi perhitungan tahanan sisa dan tahanan gesek menggunakan data dari percobaan model Series-64 [Yeh, 1965] dan hasil perhitungan yang dilakukan oleh Savitsky (2000). Sedang untuk tahanan interferensi pada katamaran menggunakan data hasil percobaan model oleh Molland, dkk., (1995). Validasi yang dilakukan terhadap perhitungan karakteristik seakeeping mengambil data pembanding dari referensi yaitu buku Bhattacharrya (1978).

Validasi akan dilakukan untuk perhitungan-perhitungan:

a. Tahanan Gesek dan tahanan sisa

Untuk validasi tahanan gesek dan tahanan sisa digunakan data sebagai berikut [Savitsky, dkk., 2000]:

$$LWL = 1480 \text{ ft}$$

$$B = 117 \text{ ft}$$

$$T = 30 \text{ ft}$$

$$\Delta = 63.800 \text{ LT}$$

$$WSA = 161.300 \text{ ft}^2$$

$$Cb = 0,43$$

$$Rr = 957.000 \text{ lb}$$





$$V_s = 50 \text{ knot}$$

$$R_f = 1.353.000 \text{ lb}$$

$$R_t = 2.310.000 \text{ lb}$$

Dari hasil perhitungan program diperoleh :

$$\Delta = 63.813 \text{ LT}$$

$$WSA = 162.297,1 \text{ ft}^2$$

$$R_r = 957.000 \text{ lb}$$

$$R_f = 1.351.350 \text{ lb}$$

b. Tahanan interferensi pada katamaran

Untuk validasi tahanan interferensi pada katamaran digunakan data sebagai berikut [**Molland, dkk., 1995**]:

$$LWL = 1,6 \text{ m}$$

$$B = 0,2286 \text{ m}$$

$$T = 0,1143 \text{ m}$$

$$\Delta = 0,0166 \text{ ton}$$

$$WSA = 0,434 \text{ m}^2$$

$$C_b = 0,397$$

$$F_n = 0.3$$

$$S/L = 0.2$$

$$R_{if} = 0.07566 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan program diperoleh :

$$R_{if} = 0.07762 \text{ kN}$$



Tabel 3.1 Tabel validasi Tahanan

Karakteristik	Hasil Perhitungan	Dari Literatur	Selisih (%)
Displasemen	63813.46555	63800	0.02110588
WSA	162297.1111	161300	0.618171762
Rf	1351350.077	1353000	-0.121945565
Rr	1021591.575	957000	6.749380878
Rt	2372941.652	2310000	2.724746818
R <sub>if</sub>	0,07566	0,07762	-0.02591

c. Kopel *heave* dan *pitch*

Untuk validasi kopel *heave* dan *pitch* digunakan data sebagai berikut:

$$L_{pp} = 19,2 \text{ ft}$$

$$B = 2,592 \text{ ft}$$

$$T = 1,144 \text{ ft}$$

$$\Delta = 2837,76 \text{ lb}$$

$$C_b = 0,0,8$$

$$L_{cg} = +0,48 \text{ ft}$$

$$L_{cb} = +0,48 \text{ ft}$$

$$V = 4,788 \text{ ft}$$

Dari perhitungan di buku Bhattacharrya (1978) didapatkan hasil persamaan *heaving* sebagai berikut

$$z = 0.03935 \cos(\omega_e t - 89,95^\circ) \text{ ft}$$

dan persamaan *pitching*

$$\theta = 0.01819 \cos(\omega_e t - 178,42^\circ)$$

sedangkan hasil perhitungan program adalah sebagai berikut;

$$z = 0.0385 \cos(\omega_e t + 169,95^\circ) \text{ ft}$$



$$\theta = 0.001592 \cos(\omega_e t + 65,82^\circ)$$

dari hasil perbandingan terdapat selisih awal harga

$$\Delta z = 0.03935 - 0.0385 = 0.00085$$

$$\Delta \theta = 0.001819 - 0.001592 = 0.000227$$

### III.7. ANALISIS HASIL VALIDASI

Dari pengamatan perbandingan hail yang telah dilakukan maka hal yang perlu mendapat perhatian adalah

- a. Hasil menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu mencolok. Hal ini disebabkan karena metode perhitungan yang digunakan sama sampai pada tingkat penggunaan formula. Pengamatan lebih lanjut mengenai hasil perhitungan menggunakan modifikasi formula tahanan interferensi menunjukkan hal yang sama. Namun validasi terhadap formula tersebut perlu dilakukan dengan menggunakan metode yang lebih komprehensif dan didukung oleh percobaan.
- b. Perbedaan hasil yang ditimbulkan lebih banyak disebabkan oleh:
  - Pembulatan yang dilakukan oleh komputer selama proses perhitungan.
  - Pengambilan data pengembangan ukuran utama yang diambil dari Series-64 telah mengalami regresi sebelumnya.
  - Data yang digunakan dalam program perhitungan berupa data sekunder, sedangkan acuan yang digunakan untuk validasi menggunakan data primer.



# Bab IV



---

*Perhitungan dan  
Analisis Perhitungan*



## BAB IV

### PERHITUNGAN DAN ANALISIS PERHITUNGAN

#### IV.1 UMUM

Bab ini akan menampilkan hasil keluaran program dari beberapa contoh input data dan juga dapat diamati karakteristik kapal tipe katamaran dan *monohull* berdasar hasil keluaran tersebut. Analisis karakteristik hidrodinamika dari kedua tipe tersebut dapat menjelaskan keistimewaan masing-masing tipe dan menunjukkan perubahan konfigurasi lambung maupun parameter kecepatan terhadap unjuk kerja hidrodinamika sebuah desain.

#### IV.2 PENENTUAN DIMENSI AWAL

Penentuan dimensi awal merupakan data awal yang dimasukkan secara manual pada program ini. Pada contoh kasus ini diambil data input sebagai berikut:

Displacement : 1000 ton

$F_n$  : 0,3

Dari data awal tersebut, menggunakan batasan dari series-64 dilakukan penentuan ukuran utama kapal yang akan dihitung karakteristik hidrodinamikanya. Adapun perhitungan penyelesaian ukuran utama adalah sebagai berikut:

$$\text{Disp} = L \cdot B \cdot T \cdot C_b \cdot \gamma \quad (4.1)$$

dimana:

$L$  : Panjang garis air







B : Lebar

T : Sarat

Cb : Koefisien Blok

$\gamma$  : Berat jenis air laut = 1,025 ton/m<sup>3</sup>

Cb = 0,35								
B/T = 2			B/T = 3			B/T = 4		
8,45	13,35	18,25	8,45	13,35	18,25	8,45	13,35	18,25
Cb = 0,45								
B/T = 2			B/T = 3			B/T = 4		
8,45	13,35	18,25	8,45	13,35	18,25	8,45	13,35	18,25
Cb = 0,55								
B/T = 2			B/T = 3			B/T = 4		
8,45	13,35	18,25	8,45	13,35	18,25	8,45	13,35	18,25

Tabel 4.1. Variasi model lambung interval Series-64

Pembentukan lambung kapal divariasikan seperti pada Tabel 4.1., kemudian dilakukan perhitungan pembentukan lambung dengan memasukkan karakteristik perbandingan ukuran utama ke dalam persamaan (4.1), didapat

$$\text{Disp} = L/B \cdot B/T \cdot T^2 \cdot B \cdot C_b \cdot \gamma \quad (4.2)$$

sehingga untuk Displasemen,  $L/B$ ,  $B/T$ ,  $C_b$ , dan  $\gamma$  yang sudah diketahui maka dari persamaan tersebut dapat ditentukan nilai

$$BT^2 = \frac{\text{Disp}}{L/B \cdot B/T \cdot C_b \cdot \gamma} \quad (4.3)$$

dengan nilai  $BT^2$  yang sudah diketahui maka dapat ditentukan nilai B dan /atau T. Sehingga selanjutnya didapat seluruh dimensi utama untuk satu kapal. Demikian proses berulang sampai batas yang diberikan oleh series-64 terpenuhi semua.





Metode yang sama digunakan pula untuk pembentukan ukuran utama katamaran dengan menganggap displasemen dari demihull-nya sama dengan setengah kali displasemen kapal *monohull*.

Pengamatan terhadap sensitivitas perubahan variabel ukuran utama dapat diamati pada analisis sensitivitas. Dari proses ini pula dapat diamati nilai variabel ukuran utama yang memiliki karakteristik hidrodinamika yang relatif kompetitif antara *monohull* dan katamaran serta tetap memenuhi batasan-batasan teknis operasional. Detail dari hasil perhitungan dapat diamati pada bagian akhir dari Bab IV.

### **IV.3 ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Dari hasil proses perhitungan yang dilakukan antara *monohull* dan katamaran dapat diamati bahwa komponen ratio ukuran utama kapal mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap perubahan karakteristik hidrodinamika terutama tahanan dan karakteristik *rolling* yang dialami kapal. Untuk lebih jelasnya dapat diamati pada Gambar 4.1, 4.2, 4.3, dan 4.4.

Jika kemudian dari masing-masing grafik hubungan karakteristik hidrodinamika maka akan didapatkan fungsi yang memberikan pengaruh perubahan nilai masing-masing aspek yang cukup signifikan. Pada contoh perhitungan untuk masing-masing displasemen 1000 ton,  $S/L = 0.3$  dan  $Fn = 0.5$  diperoleh pengembangan ukuran utama sebagaimana ada pada lampiran. Dari masing-masing ukuran utama tersebut dilakukan perhitungan dan pengamatan pengaruh konfigurasi kapal dan perbandingan ukuran utama terhadap WSA, tahanan total, amplitudo *heave* dan *pitch*. Dari contoh pengambilan *trendline*



regresi linear dari Gambar 4.2 untuk B/T konstan dan perubahan Cb untuk masing-masing L/B didapatkan fungsi hubungan tahanan total

Untuk *monohull*:

$$y = -77.636x + 556.96$$

$$y = -12.24x + 350.08$$

$$y = 10.715x + 296.14$$

Untuk katamaran

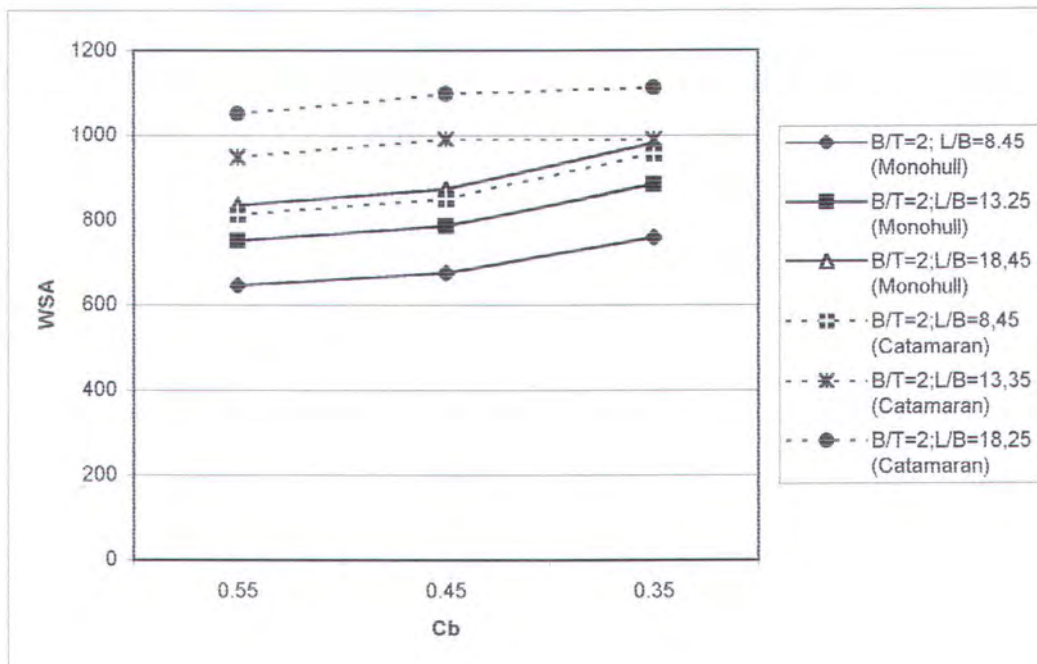
$$y = 17.733x + 403.54$$

$$y = -3.4148x + 356.53$$

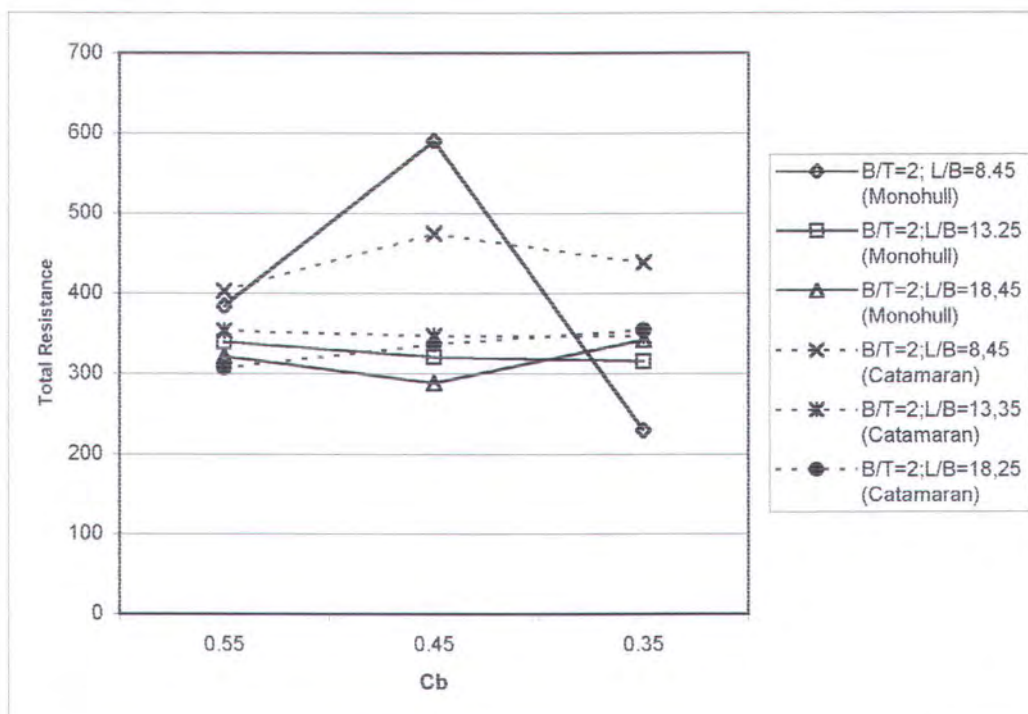
$$y = -3.4148x + 356.53$$

Gradien dari fungsi-fungsi tersebut menunjukkan gradien yang sangat tajam. Interpretasi dari keadaan tersebut bahwa ketika perancang kapal melakukan perubahan ukuran kapal baik untuk katamaran maupun *monohull* terjadi perubahan nilai Cb maka perlu ditinjau kembali prediksi terhadap kemungkinan perubahan tahanan total yang akan terjadi.

Kondisi juga berlaku pada harga WSA amplitudo *heave* dan amplitudo *pitch*. Hal ini dapat diamati pada *trendline* dari regresi linear untuk hasil perhitungan karakter di atas.

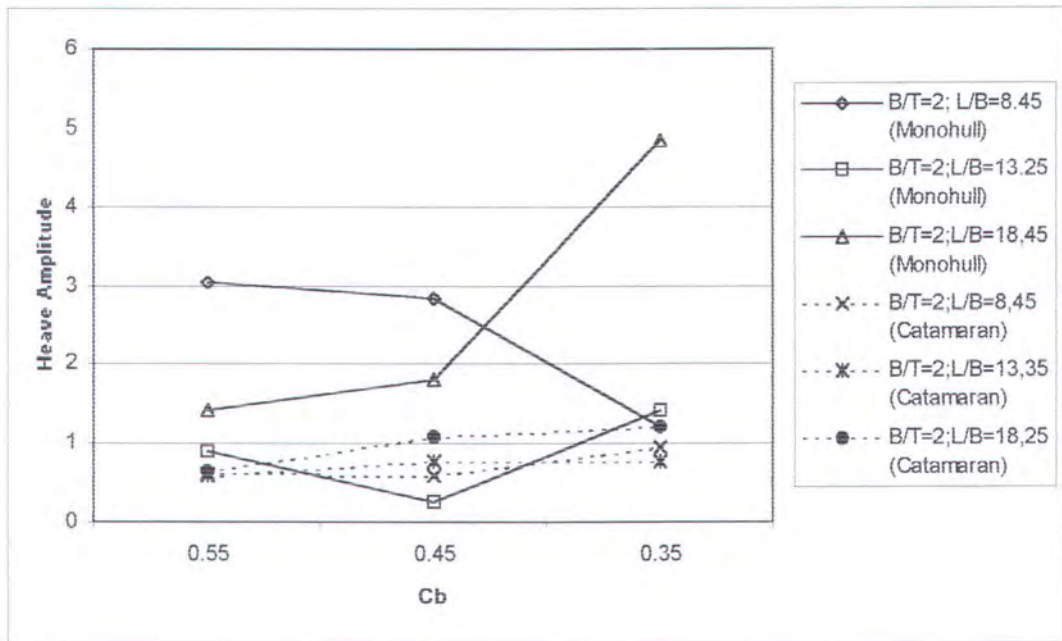


Gambar 4.1. Analisis sensitivitas WSA untuk Cb Berubah

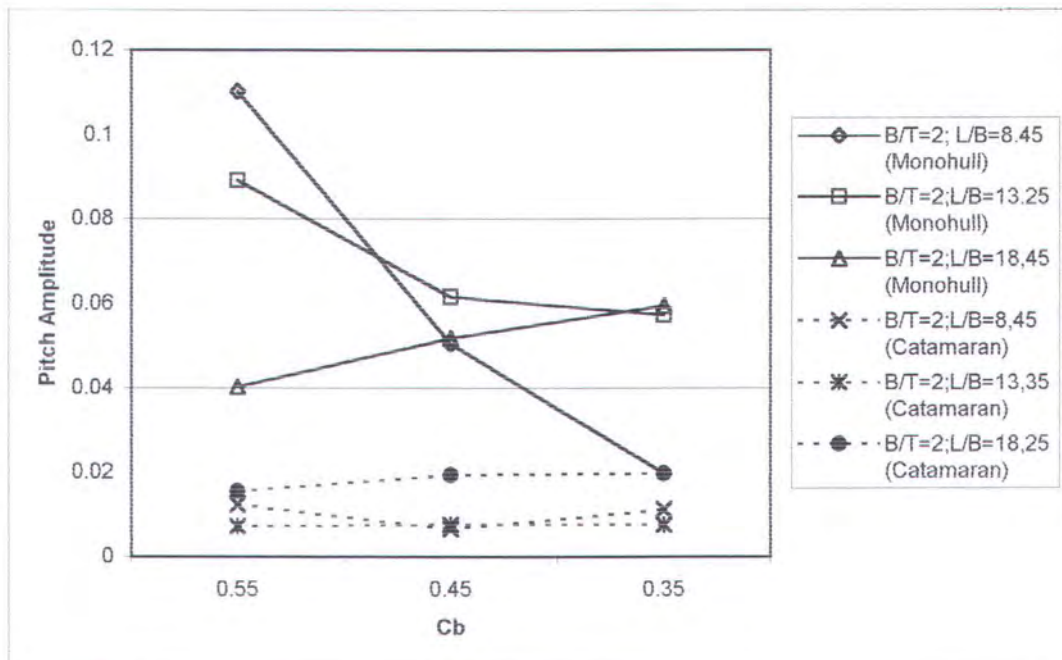


Gambar 4.2. Analisis sensitivitas Tahanan total untuk Cb berubah





Gambar 4.3. Analisis sensitivitas amplitudo heave untuk Cb Berubah



Gambar 4.4. Analisis sensitivitas amplitudo pitch untuk Cb Berubah



#### IV.4 PENGARUH PARAMETER KECEPATAN

Pada pembahasan sebelumnya, pengamatan terhadap karakteristik katamaran dan *monohull* didasarkan pada displasemen dan Froude Number ( $F_n$ ) yang sama. Konsekuensi dari asumsi ini memberikan model yang memiliki variabel kecepatan yang berbeda untuk setiap kondisi variasi pengembangan model. Hal ini cukup menyulitkan dalam memahami karakteristik keduanya dalam kerangka keperluan praktis perbandingan. Maka dianggap perlu untuk memasukkan juga komponen parameter kecepatan kapal yang ekuivalen tanpa memandang harga  $F_n$  yang sama.

Pada contoh kasus ini diambil data input sebagai berikut:

Displasement : 1000 ton

Kecepatan ( $V_s$ ) : 30 knot

Dari data awal diatas, maka dipilih dua bentuk lambung dari pengembangan ukuran utama Series-64 untuk masing-masing model. Ukuran utama dari keduanya dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan hasil perhitungan untuk karakteristik hidrodinamika dapat diamati pada Tabel 4.3.

Dari Tabel 4.3 dapat diamati bahwa pengaruh parameter kecepatan terhadap karakteristik hidrodinamika katamaran dan *monohull* sangat besar. Tahanan total katamaran lebih besar dibanding dengan *monohull*, disebabkan  $F_n$  dari katamaran lebih besar dibanding dengan *monohull* untuk kecepatan yang sama. Selain itu, luas permukaan basah katamaran lebih besar. Parameter kecepatan juga mempengaruhi amplitudo *heave* dan *pitch* dimana katamaran memiliki amplitudo *heave* dan *pitch* yang relatif lebih kecil ( $\pm 30\%$ ). Dengan



kata lain, katamaran relatif memiliki karakteristik gerak kapal yang lebih baik untuk  $F_n$  yang lebih tinggi.

		<i>Monohull</i>	<b>Katamaran</b>
Displasemen	[ton]	1000	1000
L (Panjang)	[m]	99.785	77.981
B (Lebar)	[m]	7.4745	5.841
T (Sarat)	[m]	3.7373	1.947
H (Tinggi)	[m]	7.1275	5.570
Vs (Kecepatan)	[knot]	30	30
Cb		0.35	0.55
BOA (Breadth Over All)	[m]	-	17.538
$F_n$ (Froude Number)		0.4932	0.5579

Tabel 4.2. Ukuran utama model katamaran dan monohull

<b>Karakteristik</b>		<i>Monohull</i>	<b>Katamaran</b>
Displasemen	[ton]	1000	1000
WSA	[m <sup>2</sup> ]	884.191	1024.846
Periode <i>Rolling</i>	[sec]	7.746	2.48
Sudut <i>Rolling</i>	[degree]	22.417	31.693
MG	[m]	0.527	2.557
$F_n$ (Froude Number)		0.4932	0.5579
Tahanan Gesek ( $R_f$ )	[kN]	159.990	191.153
Tahanan Sisa ( $R_r$ )	[kN]	148.078	101.976
Tahanan Interferensi ( $R_i$ )	[kN]	-	65.93
Tahanan Total ( $R_t$ )	[kN]	308.068	359.058
Amplitudo <i>Heave</i> ( $z_a$ )	[m]	1.3021	0.963
Amplitudo <i>Pitch</i> ( $\theta_a$ )	[rad]	0.5616	0.1677

Tabel 4.3. Hasil perhitungan karakteristik katamaran dan monohull 1000-ton berbasis komponen kecepatan sama





Karakteristik sudut *rolling* dan periode *rolling* juga mempunyai perbedaan yang signifikan antara katamaran dan *monohull*. Meskipun harga keduanya dihitung dalam kondisi air tenang dimana parameter kecepatan tidak berpengaruh, namun konfigurasi katamaran yang khas memberikan kontribusi terhadap perbedaan harga MG(tinggi metasentra) yang cukup besar antara keduanya. Katamaran memiliki harga MG hampir 5 kali dari MG *monohull*.

# Bab V



---

## *Kesimpulan dan Saran*



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### V. 1. KESIMPULAN

1. Kerangka kerja (*frame work*) dalam menyelesaikan permasalahan perbandingan katamaran dibanding *monohull* berdasarkan parameter teknis menghasilkan alternatif penggambaran karakteristik hidrodinamika dari kedua tipe kapal tersebut menjadi lebih komprehensif.
2. Berdasarkan penjabaran pada Bab IV, maka tujuan kerangka kerja ini dapat tercapai yaitu karakteristik hidrodinamika untuk kapal cepat tipe displasemen Series-64 berupa tahanan, gerak kapal, dan stabilitas yang diwakili oleh periode *rolling* dan sudut *rolling* telah tercapai.
3. Berdasarkan pada analisis sensitivitas yang dilakukan maka pada kerangka kerja yang telah disusun dapat diamati bahwa rasio ukuran utama kapal  $L/B$ ,  $B/T$  dan  $C_b$  merupakan faktor yang signifikan terhadap perubahan tahanan total. Pada katamaran faktor perbandingan  $S/L$  semakin memperbesar nilai tahanan total dan memperkecil periode *rolling* serta sudut *rolling*. Sedangkan pengaruh rasio ukuran utama kapal terhadap olah gerak kapal relatif lebih minor, kecuali pada kecepatan yang sama namun dalam Froude number yang berbeda, dimana katamaran mempunyai





amplitudo *heave* dan *pitch* yang relatif lebih kecil dalam range  $F_n$  yang lebih rendah.

4. Pemodelan ini dapat memberikan pedoman pada proses perencanaan dan pemilihan tipe kapal selanjutnya bahwa jika terjadi perubahan perbandingan ukuran utama kapal dan konfigurasi lambung maka harus diperiksa kembali apakah faktor hasil perubahan masih memenuhi kriteria operasional kapal.
5. Dari hasil validasi program didapatkan kenyataan bahwa terdapat selisih nilai yang disebabkan adanya perbedaan dalam pengembangan ukuran utama, konversi satuan, *human error* dan *machine error* dalam pembacaan grafik dan tabel. Namun demikian, hal tersebut tidak terlepas dari tujuan bahwa secara *frame work software* (kerangka kerja perangkat lunak) masih dalam kerangka kerja yang sesuai dengan metode yang digunakan.

## V. 2. SARAN

1. Untuk mendapatkan analisis yang lebih realistis, perlu dilakukan penelitian untuk kondisi gelombang irregular dan karakteristik *seakeeping* yang lain seperti *deck wetness*, *slamming*, *added resistance*, dan *wave impact* pada struktur bridge katamaran dengan menggunakan *frame work process* yang sama dengan yang telah dilakukan pada tugas akhir ini.
2. Validasi terhadap perhitungan *couple heaving* dan *pitching* pada katamaran dengan metode *doubling strip demihull* serta prediksi tahanan



- interferensi dengan basis Cb demihull yang berbeda perlu dilakukan dengan percobaan atau metode analitis yang lebih komprehensif.
3. Perlu dilakukan integrasi pengembangan ukuran utama dan proses iterasi optimisasi sehingga dapat diperoleh ukuran katamaran dan *monohull* yang sesuai dengan kondisi perairan yang dimaksud.



---

# Daftar Pustaka



## DAFTAR PUSTAKA

- Arena, G., Farenetti, V., (1993), *Introducing Eurofast*, FAST '93, Conf. Papers, Yokohama, Jepang, p. 1179-1192.
- Bakri, M., Santoso, I. G. M., Sudjono, Y. Y., (1983), *Teori Bangunan Kapal*, 3 Jilid, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, DIRJEN DIKDASMEN, Jakarta.
- Bhattacharya, R., (1978), *Dynamics of Marine Vehicles*, Jhon Willeys Interscience Publication, New York.
- Boulton, Craig, (1996), *The AMD Wavepiercing Catamaran - Seakeeping Excelent*, Multihull Design Pty. Ltd., Australia
- Cousier, P.R., Molland, A.F., Armstrong, N.A, Utama, I.K.A., (1997), *Calm Powering Prediction for High Speed Catamaran*, FAST '97, Conf. Papers, Sydney, Australia.
- D'Archangelo Amelio, M., (1989), *Ship Design and Construction*, Holland.
- Hadler, et.al., (1978), *Ocean Catamaran Seakeeping Design, Based on the Experiences of USNS "Hayes"*, Transc. SNAME, vol. 86.
- Harvald, Sv., (1983), *Resistance and Propulsion of Ship*, John Willey & Sons, Inc., Annapolis, Marryland, USA.
- Insell, M. (1990), *An Investigation into the Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans*, Ph.D. thesis, University of Southampton.
- Insell, M., Molland, A.F., (1992), *An Investigation into the Resistance Components of High Speed Displacement Catamarans*, Trans. RINA, Vol. 134.
- Kupras, L.K., (1971), *Optimization Methode and Parametric Study in Pre-contracted Ship Design*, Int. Ship Bldg. Progress, Vol. 23.
- Lewis, E.V., (1988), *Principles of Naval Architecture*, Second Revision, SNAME, Jersey City, NY.
- Mandel, Philip, (1962), *A Comparative Evolution of Novel Ship Types*, Trans. SNAME, Vol. 70, New York.

Matsui, S. Shao, S.M., Wang, Y.C., Tanaka, K., (1993), *The Experimental Investigation on Resistance and Seakeeping Qualities of a Catamaran*, FAST '93, Conf. Papers, Yokohama, Jepang, p. 1245.

Miyazawa, M., (1979), *A Study on the Flow Around a Catamaran*, Japan Society of Naval Architecture Journal, Vol. 145.

Molland, A.F., Wellicome, J. F., Couser, P.R., (1995), *Resistance Experiments on a Systematic Series of High-Speed Displacement Catamaran Forms: Variation of Length-Displacement Ratio and Breadth-Draught Ratio*, Trans. RINA, England.

Ochi, M. K., Motter, L. E., (1974), *On Prediction of Extreem Response in Rough Seas of the North Atlantic*, Int. Symp.on the Response of Marine Vehicles and Structure in Waves, University College, London.

Savitsky, D., Bagnel, D., Basu, R., (2000), *Viability of Large High-Speed Displacement Hulls*, Davidson Laboratory, Stevens Institute of Technology, Hoboken, New Jersey.

Schneekluth, (2000), *Design of Merchant Ship*, MARIN, Holland.

Tennant, M., (2000), *Performance of the Displacement Catamaran*, <http://www.tennantdesign.co.nv>.

Todd, F. H., (1963), *Methodological Experiment with Models of Single Screw Merchant Ships*, David Taylor Model Basin Report No. 1712.

Turner, H., Taplin, A., (1968), *The Resistance of Large Powered Catamaran*, Trans. SNAME Vol. 76, p. 180-213.

Wijholst, N., Wargeland, T., (1996), *Shipping*, Delft Univesity Press, Norway.

Yeh, Hugh, (1965), *Series-64 Resistance Experiment on High-Speed Displacement Forms*, Marine Technology, July.





---

# *Lampiran*



Pengembangan Ukuran Utama Series-64 (Model Monohull)

Displasemen 1000					
Cb	0.55				
Fn	0.5	Fn	0.5	Fn	0.5
L/B	8.45	L/B	13.35	L/B	18.25
B/T	2	B/T	2	B/T	2
L	63.27308	L	85.82925	L	113.8832
B	7.487938	B	6.429157	B	6.240176
T	3.743969	T	3.214579	T	2.496071
H	4.519505	H	6.130661	H	8.134516
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55
V	24.21659	V	28.20468	V	32.48878
WSA	645.2896	WSA	751.5586	WSA	887.2211

B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5
L	68.15886	L	92.45676	L	120.5107
B	8.066137	B	6.9256	B	6.603327
T	3.226455	T	2.77024	T	2.641331
H	4.86849	H	6.804054	H	8.607909
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55
V	25.13418	V	29.27338	V	0.448823
WSA	670.9051	WSA	781.3926	WSA	971.0951

B/T	3	B/T	3	B/T	3
L	72.42959	L	98.24997	L	121.019
B	8.571549	B	7.359548	B	6.631177
T	2.857183	T	2.453183	T	2.210392
H	5.173542	H	7.017855	H	8.644213
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55
V	25.90965	V	30.17656	V	33.49117
WSA	697.1359	WSA	811.9432	WSA	901.1273

B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5
L	76.24856	L	103.4304	L	127.3999
B	9.023498	B	7.747592	B	6.980816
T	2.578142	T	2.213596	T	1.994519
H	5.446326	H	7.387882	H	9.099993
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55
V	26.58394	V	30.9619	V	34.36278
WSA	725.3967	WSA	844.8581	WSA	937.6576

B/T	4	B/T	4	B/T	4
L	79.71908	L	108.1381	L	133.1986
B	9.434211	B	8.100231	B	7.298555
T	2.358553	T	2.025058	T	1.824639
H	5.69422	H	7.724149	H	9.514187
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.45
V	13.98253	V	16.28523	V	18.074
WSA	756.6103	WSA	881.2121	WSA	978.0048

Displasemen 1000					
Cb	0.45				
Fn	0.5	Fn	0.5	Fn	0.5
L/B	8.45	L/B	13.35	L/B	18.25
B/T	2	B/T	2	B/T	2
L	67.65019	L	91.76676	L	113.0333
B	8.005939	B	6.873914	B	6.193606
T	4.00297	T	3.436957	T	3.096803
H	4.832156	H	6.554768	H	8.073808
Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45
V	25.04022	V	29.16394	V	32.36732
WSA	674.4038	WSA	765.4675	WSA	871.7436

B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5
L	72.67396	L	98.85274	L	121.7614
B	8.624137	B	7.4047	B	6.67186
T	3.449655	T	2.96188	T	2.668744
H	5.205283	H	7.06091	H	8.697246
Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45
V	25.96901	V	30.26899	V	33.59375
WSA	704.2842	WSA	820.2687	WSA	910.3674

B/T	3	B/T	3	B/T	3
L	77.44013	L	105.0467	L	129.3908
B	9.164513	B	7.868668	B	7.089909
T	3.054838	T	2.622889	T	2.363303
H	5.531438	H	7.503337	H	9.242203
Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45
V	26.79086	V	31.20289	V	34.63023
WSA	735.4859	WSA	856.6089	WSA	950.8991

B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5
L	81.52329	L	110.5855	L	136.2132
B	9.647727	B	8.283556	B	7.463736
T	2.756493	T	2.36873	T	2.132496
H	5.823092	H	7.698962	H	9.729513
Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45
V	27.48808	V	32.01493	V	35.53147
WSA	769.4879	WSA	896.2104	WSA	994.6505

B/T	4	B/T	4	B/T	4
L	85.2339	L	115.6189	L	142.413
B	10.08685	B	8.680589	B	7.803455
T	2.521713	T	2.165147	T	1.950864
H	6.088135	H	8.258491	H	10.17236
Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45
V	14.45808	V	16.8391	V	18.68871
WSA	807.2589	WSA	940.2017	WSA	1043.474

Displasemen 1000					
Cb	0.35				
Fn	0.5	Fn	0.5	Fn	0.5
L/B	8.45	L/B	13.35	L/B	18.25
B/T	2	B/T	2	B/T	2
L	73.56149	L	99.78537	L	122.9102
B	8.705501	B	7.47456	B	6.734808
T	4.352751	T	3.73728	T	3.367403
H	5.254392	H	7.127526	H	8.7793
Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35
V	26.11132	V	30.41144	V	33.75185
WSA	758.7861	WSA	883.7462	WSA	980.8173

B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5
L	79.24171	L	107.4905	L	132.401
B	9.377717	B	8.051725	B	7.25485
T	3.751087	T	3.22069	T	2.90194
H	5.660122	H	7.677695	H	9.457215
Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35
V	27.1007	V	31.56375	V	35.03073
WSA	790.9147	WSA	921.1659	WSA	1022.347

B/T	3	B/T	3	B/T	3
L	84.20688	L	114.2257	L	140.6971
B	9.965312	B	8.556235	B	7.709428
T	3.32177	T	2.852078	T	2.569809
H	6.014777	H	8.158981	H	10.04979
Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35
V	27.93684	V	32.5376	V	36.11154
WSA	826.4606	WSA	962.5656	WSA	1068.294

B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5
L	88.64682	L	120.2485	L	148.1155
B	10.49075	B	9.007376	B	8.11592
T	2.997357	T	2.573536	T	2.318834
H	6.331916	H	8.589176	H	10.57968
Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35
V	28.66389	V	33.38438	V	37.05133
WSA	867.2636	WSA	1010.088	WSA	1121.037

B/T	4	B/T	4	B/T	4
L	92.68167	L	125.7217	L	154.8572
B	10.96824	B	9.417355	B	8.485324
T	2.742061	T	2.354339	T	2.121331
H	6.620119	H	8.980121	H	11.06123
Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35
V	15.07653	V	17.5594	V	19.48813
WSA	914.5481	WSA	1065.16	WSA	1182.157



Pengembangan Ukuran Utama Series-64 (Model Monohull)

Displasemen 1000						Displasemen 1000						Displasemen 1000					
Cb 0.55		L/B 13.35		L/B 18.25		Cb 0.45		L/B 13.35		L/B 18.25		Cb 0.35		L/B 13.35		L/B 18.25	
V 30						V 30						V 30					
L/B 8.45						L/B 8.45						L/B 8.45					
B/T	2	B/T	2	B/T	2	B/T	2	B/T	2	B/T	2	B/T	2	B/T	2	B/T	2
L	63.27308	L	85.82925	L	113.8832	L	67.65019	L	91.76676	L	113.0333	L	73.58149	L	99.78537	L	122.9102
B	7.487938	B	6.429157	B	6.240176	B	8.005939	B	6.873914	B	6.193606	B	8.705501	B	7.47456	B	6.734806
T	3.743969	T	3.214579	T	2.496071	T	4.00297	T	3.436957	T	3.096803	T	4.352751	T	3.73728	T	3.367403
H	4.519505	H	6.130661	H	8.134516	H	4.832156	H	6.554768	H	8.073808	H	5.254392	H	7.127526	H	8.7793
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35
Fn	0.61941	Fn	0.531827	Fn	0.461698	Fn	0.599036	Fn	0.514334	Fn	0.46343	Fn	0.574464	Fn	0.493235	Fn	0.44442
WSA	645.2898	WSA	751.5586	WSA	867.2211	WSA	674.4038	WSA	785.4875	WSA	871.7436	WSA	758.7861	WSA	883.7462	WSA	980.8173
3.163654		4.291463		5.694181		3.382509		4.588338		5.651666		3.678074		4.989289		6.14551	
B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5
L	68.15886	L	92.45676	L	120.5107	L	72.87396	L	98.85274	L	121.7614	L	79.24171	L	107.4905	L	132.401
B	8.066137	B	6.9256	B	6.603327	B	8.624137	B	7.4047	B	6.67186	B	9.377717	B	8.051725	B	7.25485
T	3.226455	T	2.77024	T	2.641331	T	3.449655	T	2.96188	T	2.668744	T	3.751087	T	3.22069	T	2.90194
H	4.86849	H	6.604054	H	8.607909	H	5.205283	H	7.06091	H	8.697246	H	5.660122	H	7.677895	H	9.457215
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35
Fn	0.596797	Fn	0.512411	Fn	0.448823	Fn	0.577167	Fn	0.495557	Fn	0.446512	Fn	0.553491	Fn	0.475229	Fn	0.428195
WSA	670.9051	WSA	781.3926	WSA	871.0951	WSA	704.2842	WSA	820.2687	WSA	910.3674	WSA	790.9147	WSA	921.1659	WSA	1022.347
3.407943		4.622836		6.63		3.872007		5.252336		6.469542		4.210344		5.711287		7.034853	
B/T	3	B/T	3	B/T	3	B/T	3	B/T	3	B/T	3	B/T	3	B/T	3	B/T	3
L	72.42959	L	98.24997	L	121.019	L	77.44013	L	105.0467	L	129.3908	L	84.20688	L	114.2257	L	140.6971
B	8.571549	B	7.359548	B	6.631177	B	9.164513	B	7.868668	B	7.089909	B	9.965312	B	8.556235	B	7.709428
T	2.857183	T	2.453183	T	2.210392	T	2.624838	T	2.32177	T	2.32177	T	3.32177	T	2.852078	T	2.569809
H	5.173542	H	7.017855	H	8.644213	H	5.531438	H	7.503337	H	9.242203	H	6.014777	H	8.156981	H	10.04979
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35
Fn	0.578935	Fn	0.497075	Fn	0.447879	Fn	0.559893	Fn	0.480725	Fn	0.433148	Fn	0.538925	Fn	0.461005	Fn	0.41538
WSA	697.1359	WSA	811.9432	WSA	901.1273	WSA	735.4859	WSA	856.6089	WSA	950.6991	WSA	826.4606	WSA	962.5656	WSA	1068.294
3.62148		4.912496		6.050949		3.872007		5.252336		6.469542		4.210344		5.711287		7.034853	
B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5
L	76.24856	L	103.4304	L	127.3999	L	81.52329	L	110.5855	L	136.2132	L	88.64682	L	120.2485	L	148.1155
B	9.023498	B	7.747592	B	6.980816	B	9.647727	B	8.283556	B	7.463736	B	10.49075	B	9.007376	B	8.11592
T	2.578142	T	2.213598	T	1.994519	T	2.756493	T	2.36673	T	2.132496	T	2.997357	T	2.573536	T	2.318834
H	5.446326	H	7.387882	H	9.099993	H	5.823092	H	7.898962	H	9.729513	H	6.331916	H	8.589176	H	10.57968
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35
Fn	0.56425	Fn	0.484466	Fn	0.436519	Fn	0.545691	Fn	0.468531	Fn	0.422161	Fn	0.523306	Fn	0.449312	Fn	0.404844
WSA	725.3967	WSA	844.8581	WSA	937.6576	WSA	769.4879	WSA	896.2104	WSA	994.6505	WSA	867.2636	WSA	1010.088	WSA	1121.037
3.62148		4.912496		6.050949		3.872007		5.252336		6.469542		4.210344		5.711287		7.034853	
B/T	4	B/T	4	B/T	4	B/T	4	B/T	4	B/T	4	B/T	4	B/T	4	B/T	4
L	79.71908	L	108.1381	L	133.1986	L	85.2339	L	115.6189	L	142.413	L	92.68167	L	125.7217	L	154.8572
B	9.434211	B	8.100231	B	7.298555	B	10.08685	B	8.660589	B	7.803455	B	10.98824	B	9.417355	B	8.485324
T	2.358553	T	2.025058	T	1.824639	T	2.521713	T	2.165147	T	1.950864	T	2.742061	T	2.354339	T	2.121331
H	5.69422	H	7.724149	H	9.514187	H	6.088135	H	8.258491	H	10.17236	H	6.620119	H	8.980121	H	11.06123
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35
Fn	0.551832	Fn	0.473804	Fn	0.426911	Fn	0.533681	Fn	0.458219	Fn	0.41287	Fn	0.511769	Fn	0.439423	Fn	0.395933
WSA	756.6103	WSA	881.2121	WSA	978.0048	WSA	807.2589	WSA	940.2017	WSA	1043.474	WSA	914.5481	WSA	1065.16	WSA	1182.157



Pengembangan Ukuran Utama Series-64 (Model Katamaran)

Displasemen 500					
Cb	0.55				
Fn	0.5	Fn	0.5	Fn	0.5
L/B	8.45	L/B	13.35	L/B	18.25
B/T	2	B/T	2	B/T	2
L	50.21987	L	68.12272	L	83.90987
B	5.94318	B	5.102828	B	4.597801
T	2.97159	T	2.551413	T	2.298901
H	3.587134	H	4.865909	H	5.993562
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55
S	7.532981	S	10.21841	S	12.58648
V	21.57453	V	25.12752	V	27.88753
WSA	406.507	WSA	473.4523	WSA	525.4565

B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5
L	54.09772	L	73.36298	L	90.15892
B	6.402097	B	5.496852	B	4.952831
T	2.560839	T	2.198741	T	1.981132
H	3.864123	H	5.241641	H	6.439923
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55
S	8.114658	S	11.00745	S	13.52384
V	22.39201	V	14.75689	V	28.90732
WSA	422.6437	WSA	492.2465	WSA	544.9234

B/T	3	B/T	3	B/T	3
L	57.48741	L	77.98105	L	96.05283
B	6.803243	B	5.841277	B	5.263169
T	2.267748	T	1.947092	T	1.75439
H	4.106243	H	5.570075	H	6.860916
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55
S	8.623111	S	11.69716	S	14.40792
V	23.08286	V	13.82926	V	29.83724
WSA	439.1681	WSA	511.4921	WSA	567.6747

B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5
L	60.51852	L	82.09273	L	101.1174
B	7.161955	B	6.149268	B	5.540678
T	2.046273	T	1.756934	T	1.583051
H	4.322751	H	5.863766	H	7.222669
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55
S	9.077778	S	12.31391	S	15.1676
V	23.6836	V	14.18917	V	30.61374
WSA	456.9713	WSA	532.2272	WSA	590.6873

B/T	4	B/T	4	B/T	4
L	63.27306	L	85.82925	L	105.7198
B	7.487938	B	6.429157	B	5.792867
T	1.871985	T	1.607289	T	1.448217
H	4.519505	H	6.130661	H	7.551415
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55
S	9.490962	S	12.87439	S	15.85797
V	24.21659	V	28.20468	V	31.3027
WSA	476.6346	WSA	555.1288	WSA	615.1044

Displasemen 500					
Cb	0.45				
Fn	0.5	Fn	0.5	Fn	0.5
L/B	8.45	L/B	13.35	L/B	18.25
B/T	2	B/T	2	B/T	2
L	53.69399	L	72.83532	L	89.7146
B	6.354318	B	5.455829	B	4.915868
T	3.177159	T	2.727915	T	2.457934
H	3.835265	H	5.202523	H	6.408186
Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45
S	8.054099	S	10.9253	S	13.45719
V	22.3063	V	25.98212	V	28.83601
WSA	424.8478	WSA	494.8135	WSA	549.164

B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5
L	57.8401	L	78.45947	L	96.84212
B	6.844962	B	5.877114	B	5.295459
T	2.737993	T	2.350846	T	2.118183
H	4.131436	H	5.604248	H	6.903009
Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45
S	8.676015	S	11.76892	S	14.49632
V	23.15357	V	26.96863	V	29.92863
WSA	443.6713	WSA	516.7369	WSA	573.4955

B/T	3	B/T	3	B/T	3
L	61.46428	L	83.37563	L	102.6976
B	7.273879	B	6.245366	B	5.627265
T	2.424626	T	2.081789	T	1.875755
H	4.390305	H	5.955402	H	7.335541
Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45
S	9.219641	S	12.50634	S	15.40464
V	23.86794	V	27.79881	V	30.85202
WSA	463.3271	WSA	539.6298	WSA	598.9029

B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5
L	64.70508	L	87.77175	L	108.1125
B	7.657406	B	6.574663	B	5.923971
T	1.78783	T	1.878475	T	1.692563
H	4.621791	H	6.26941	H	7.72232
Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45
S	9.705762	S	13.16576	S	16.21687
V	24.48909	V	28.52206	V	31.65494
WSA	484.747	WSA	564.5772	WSA	626.5906

B/T	4	B/T	4	B/T	4
L	67.65019	L	91.76676	L	113.0333
B	8.005939	B	6.873914	B	6.193606
T	2.001485	T	1.718479	T	1.548402
H	4.832156	H	6.554768	H	8.073808
Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45
S	10.14753	S	13.76501	S	16.955
V	25.04022	V	29.16394	V	32.36732
WSA	508.5412	WSA	592.2899	WSA	657.3473

Displasemen 500					
Cb	0.35				
Fn	0.5	Fn	0.5	Fn	0.5
L/B	8.45	L/B	13.35	L/B	18.25
B/T	2	B/T	2	B/T	2
L	58.38579	L	79.1997	L	97.55389
B	6.909561	B	5.932562	B	5.345419
T	3.454781	T	2.966281	T	2.672709
H	4.170414	H	5.657121	H	6.968135
Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35
S	8.757889	S	11.87996	S	14.63308
V	23.26254	V	27.09351	V	30.06948
WSA	478.0053	WSA	556.7252	WSA	980.8173

B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5
L	62.89419	L	85.31529	L	105.0867
B	7.443099	B	6.390659	B	5.758178
T	2.97724	T	2.556263	T	2.303271
H	4.492442	H	6.093949	H	7.506196
Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35
S	9.434128	S	12.79729	S	15.76301
V	24.14398	V	28.12011	V	31.20883
WSA	498.245	WSA	580.2981	WSA	1022.347

B/T	3	B/T	3	B/T	3
L	66.83505	L	90.66103	L	111.6713
B	7.909473	B	6.791088	B	6.118977
T	2.636491	T	2.263696	T	2.039659
H	4.773932	H	6.475788	H	7.976524
Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35
S	10.02526	S	13.59915	S	16.7507
V	24.8889	V	28.98771	V	32.17173
WSA	520.6375	WSA	606.3783	WSA	1068.294

B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5
L	70.35903	L	95.44127	L	117.5594
B	8.326513	B	7.149159	B	6.44161
T	2.379004	T	2.042617	T	1.84046
H	5.025645	H	6.817234	H	8.397099
Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35
S	10.55385	S	14.31619	S	17.63391
V	25.53662	V	29.7421	V	33.00899
WSA	546.3418	WSA	636.3157	WSA	1121.037

B/T	4	B/T	4	B/T	4
L	73.56149	L	99.78537	L	122.9102
B	8.705501	B	7.47456	B	6.734806
T	2.176375	T	1.86864	T	1.683701
H	5.254392	H	7.127526	H	8.7793
Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35
S	11.03422	S	14.96781	S	18.43653
V	26.11132	V	30.41144	V	33.75185
WSA	576.1292	WSA	671.0086	WSA	1182.157



Pengembangan Ukuran Utama Series-64 (Model Katamaran)

Displasemen 500								
Cb	0.55							
V	30							
L/B	8.45	L/B	13.35	L/B	18.25			
B/T	2	B/T	2	B/T	2			
L	50.21987	L	68.12272	L	83.90987			
B	5.94318	B	5.102826	B	4.597801			
T	2.97159	T	2.551413	T	2.298901			
H	3.587134	H	4.865909	H	5.993562			
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55			
S	7.532981	S	10.21841	S	12.58648			
Fn	0.695264	Fn	0.596955	Fn	0.537875			
WSA	406.507	WSA	473.4523	WSA	525.4565			

15.06596								
B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5			
L	54.09772	L	73.38298	L	90.15892			
B	6.402097	B	5.496852	B	4.952831			
T	2.560839	T	2.198741	T	1.981132			
H	3.864123	H	5.241641	H	6.439923			
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55			
S	8.114658	S	11.00745	S	13.52384			
Fn	0.689882	Fn	0.575162	Fn	0.5189			
WSA	422.6437	WSA	492.2465	WSA	544.9234			

16.22932								
B/T	3	B/T	3	B/T	3			
L	57.48741	L	77.98105	L	96.05283			
B	6.803243	B	5.841277	B	5.263169			
T	2.267748	T	1.947092	T	1.75439			
H	4.106243	H	5.570075	H	6.860916			
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55			
S	8.623111	S	11.69716	S	14.40792			
Fn	0.649832	Fn	0.557947	Fn	0.502727			
WSA	439.1881	WSA	511.4921	WSA	567.8747			

17.24622								
B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5			
L	60.51852	L	82.09273	L	101.1174			
B	7.161955	B	6.149268	B	5.540678			
T	2.046273	T	1.756934	T	1.583051			
H	4.322751	H	5.863766	H	7.222669			
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55			
S	9.077778	S	12.31391	S	15.1676			
Fn	0.63335	Fn	0.543795	Fn	0.489976			
WSA	456.9713	WSA	532.2272	WSA	590.6873			

18.15556								
B/T	4	B/T	4	B/T	4			
L	63.27306	L	85.82925	L	105.7198			
B	7.487938	B	6.429157	B	5.792867			
T	1.871985	T	1.607289	T	1.448217			
H	4.519505	H	6.130661	H	7.551415			
Cb	0.55	Cb	0.55	Cb	0.55			
S	9.490962	S	12.87439	S	15.85797			
Fn	0.61941	Fn	0.531827	Fn	0.479192			
WSA	476.6346	WSA	555.1288	WSA	618.1044			

Displasemen 500								
Cb	0.45							
V	30							
L/B	8.45	L/B	13.35	L/B	18.25			
B/T	2	B/T	2	B/T	2			
L	53.68399	L	72.83532	L	89.7146			
B	6.354318	B	5.455829	B	4.915868			
T	3.177159	T	2.727915	T	2.457934			
H	3.835285	H	5.202523	H	6.408186			
Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45			
S	8.054099	S	10.9253	S	13.45719			
Fn	0.672396	Fn	0.57732	Fn	0.520183			
WSA	424.8478	WSA	494.8135	WSA	549.164			

B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5			
L	57.8401	L	78.45947	L	96.64212			
B	6.844982	B	5.877114	B	5.295459			
T	2.737993	T	2.350846	T	2.118183			
H	4.131436	H	5.604248	H	6.903009			
Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45			
S	8.676015	S	11.76892	S	14.49632			
Fn	0.647848	Fn	0.556244	Fn	0.501192			
WSA	443.6713	WSA	516.7369	WSA	573.4955			

B/T	3	B/T	3	B/T	3			
L	61.46428	L	83.37563	L	102.6976			
B	7.273879	B	6.245366	B	5.627265			
T	2.424626	T	2.081789	T	1.875755			
H	4.390305	H	5.955402	H	7.335541			
Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45			
S	9.219641	S	12.50634	S	15.40464			
Fn	0.628458	Fn	0.539585	Fn	0.486192			
WSA	463.3271	WSA	539.6298	WSA	598.9029			

B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5			
L	64.70508	L	87.77175	L	108.1125			
B	7.657406	B	6.574863	B	5.923971			
T	2.187845	T	1.878475	T	1.692563			
H	4.621791	H	6.26941	H	7.72232			
Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45			
S	9.705762	S	13.16576	S	16.21687			
Fn	0.612518	Fn	0.525909	Fn	0.47386			
WSA	484.747	WSA	564.5772	WSA	626.5906			

B/T	4	B/T	4	B/T	4			
L	67.65019	L	91.76676	L	113.0333			
B	8.005939	B	6.873914	B	6.193606			
T	2.001485	T	1.718479	T	1.548402			
H	4.832156	H	6.554768	H	8.073806			
Cb	0.45	Cb	0.45	Cb	0.45			
S	10.14753	S	13.76501	S	16.955			
Fn	0.599036	Fn	0.514334	Fn	0.46343			
WSA	508.5412	WSA	592.2899	WSA	657.3473			

Displasemen 500								
Cb	0.35							
V	30							
L/B	8.45	L/B	13.35	L/B	18.25			
B/T	2	B/T	2	B/T	2			
L	58.38579	L	79.1997	L	97.55389			
B	6.909561	B	5.932562	B	5.345419			
T	3.454781	T	2.966281	T	2.672709			
H	4.170414	H	5.657121	H	6.968135			
Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35			
S	8.757869	S	11.87996	S	14.63308			
Fn	0.644814	Fn	0.553638	Fn	0.498845			
WSA	478.0053	WSA	556.7252	WSA	618.8173			

B/T	2.5	B/T	2.5	B/T	2.5			
L	62.89419	L	85.31529	L	105.0867			
B	7.443099	B	6.390659	B	5.758178			
T	2.97724	T	2.558263	T	2.303271			
H	4.492442	H	6.093949	H	7.506196			
Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35			
S	9.434128	S	12.79729	S	15.76301			
Fn	0.621273	Fn	0.533426	Fn	0.480633			
WSA	498.245	WSA	580.2981	WSA	1022.347			

B/T	3	B/T	3	B/T	3			
L	66.83505	L	90.66103	L	111.6713			
B	7.909473	B	6.791088	B	6.118977			
T	2.636491	T	2.263696	T	2.039659			
H	4.773932	H	6.475788	H	7.976524			
Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35			
S	10.02526	S	13.59915	S	16.7507			
Fn	0.602678	Fn	0.517461	Fn	0.466248			
WSA	520.6375	WSA	606.3783	WSA	1066.294			

B/T	3.5	B/T	3.5	B/T	3.5			
L	70.35903	L	95.44127	L	117.5594			
B	8.326513	B	7.149159	B	6.44161			
T	2.379004	T	2.042617	T	1.84046			
H	5.025645	H	6.817234	H	8.397099			
Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35			
S	10.55385	S	14.31619	S	17.63391			
Fn	0.587392	Fn	0.504336	Fn	0.454422			
WSA	546.3418	WSA	636.3157	WSA	1121.037			

B/T	4	B/T	4	B/T	4			
L	73.56149	L	99.78537	L	122.9102			
B	8.705501	B	7.47456	B	6.734808			
T	2.176375	T	1.86864	T	1.683701			
H	5.254392	H	7.127526	H	8.7793			
Cb	0.35	Cb	0.35	Cb	0.35			
S	11.03422	S	14.96781	S	18.43653			
Fn	0.574464	Fn	0.493235	Fn	0.44442			
WSA	576.1292	WSA	671.0086	WSA	1182.157			



# Model data untuk Series 64

Cb	Cx (Cm)	B/T	$\Delta/(0.01L)^3$	L/B	(inch) B	(inch) H (T)	sq inch Ax	sq ft WSA	disp*L^0.5	S/(\Delta L)^0.5	Cpv	Cpvf	Cpva	1/2 $\alpha e$
0.55	0.873	2	55	11.956	10.037	5.018	43.960	11.388	0.742	15.355	0.723	0.744	0.639	5.5
0.55	0.873	2	40	14.02	8.559	4.280	31.980	9.711	0.632	15.355	0.723	0.744	0.639	4.7
0.55	0.873	2	25	17.734	6.767	3.384	19.990	7.678	0.500	15.355	0.723	0.744	0.639	3.7
0.55	0.873	3	55	9.762	12.292	4.097	43.965	11.503	0.742	15.51	0.723	0.744	0.639	6.7
0.55	0.873	3	40	11.447	10.483	3.494	31.976	9.809	0.632	15.51	0.723	0.744	0.639	5.8
0.55	0.873	3	25	14.479	8.288	2.763	19.991	7.755	0.500	15.51	0.723	0.744	0.639	4.5
0.55	0.873	4	55	8.454	14.194	3.548	43.965	11.903	0.742	16.05	0.723	0.744	0.639	7.8
0.55	0.873	4	40	9.914	12.104	3.026	31.975	10.151	0.632	16.05	0.723	0.744	0.639	6.6
0.55	0.873	4	25	12.54	9.569	2.392	19.982	8.025	0.500	16.05	0.723	0.744	0.639	5.2
0.45	0.714	2	45	11.956	10.037	5.018	35.961	10.411	0.671	15.52	0.591	0.609	0.522	5.5
0.45	0.714	2	32.5	14.069	8.529	4.265	25.973	8.848	0.570	15.52	0.591	0.609	0.522	4.7
0.45	0.714	2	20	17.934	6.691	3.346	15.985	6.941	0.447	15.52	0.591	0.609	0.522	3.7
0.45	0.714	3	45	9.762	12.292	4.097	35.957	10.616	0.671	15.825	0.591	0.609	0.522	6.7
0.45	0.714	3	32.5	11.487	10.446	3.482	25.970	9.022	0.570	15.825	0.591	0.609	0.522	5.8
0.45	0.714	3	20	14.643	8.195	2.732	15.984	7.077	0.447	15.825	0.591	0.609	0.522	4.5
0.45	0.714	4	45	8.454	14.194	3.549	35.962	11.109	0.671	16.561	0.591	0.609	0.522	7.8
0.45	0.714	4	32.5	9.948	12.062	3.016	25.970	9.441	0.570	16.561	0.591	0.609	0.522	6.6
0.45	0.714	4	20	12.682	9.462	2.366	15.981	7.406	0.447	16.561	0.591	0.609	0.522	5.2
0.35	0.556	2	35	11.956	10.037	5.019	28.006	9.907	0.592	16.746	0.460	0.475	0.407	5.5
0.35	0.556	2	25	14.146	8.493	4.247	20.052	8.373	0.501	16.746	0.460	0.475	0.407	4.7
0.35	0.556	2	15	18.264	6.570	3.285	12.000	6.486	0.387	16.746	0.460	0.475	0.407	3.7
0.35	0.556	3	35	9.762	12.292	4.097	28.003	10.089	0.592	17.053	0.460	0.475	0.407	6.7
0.35	0.556	3	25	11.551	10.389	3.463	20.003	8.526	0.500	17.053	0.460	0.475	0.407	5.8
0.35	0.556	3	15	14.913	8.047	2.682	12.001	6.604	0.387	17.053	0.460	0.475	0.407	4.5
0.35	0.556	4	35	8.454	14.194	3.549	28.004	10.644	0.592	17.992	0.460	0.475	0.407	7.8
0.35	0.556	4	25	10.004	11.996	2.999	20.003	8.996	0.500	17.992	0.460	0.475	0.407	6.6
0.35	0.556	4	15	12.915	9.292	2.323	12.001	6.968	0.387	17.992	0.460	0.475	0.407	5.2

L	10 inch	Lr/L	0.4	Le/L	0.6
Lcb/Lwl	0.5656 Aft AP	Lcf/lwl	0.601 Aft AP		
Cp	0.63	Cpe	0.568 Cpr	0.71	
Cpf	0.518	Cpa	0.815		
Cw	0.761 Cwa	0.981 Cwf	0.541		

Residuary Resistance in Pounds per Ton Displacement					Cb 0.55					
disp/(0.01L) <sup>3</sup>		55			40			25		
B/T		2	3	4	2	3	4	2	3	4
Fn	V/(L) <sup>0.5</sup>									
0.064	0.2	0.75	0.75	0.75	0.77	0.77	0.77	0.82	0.82	0.82
0.128	0.4	2.62	2.62	2.62	1.54	1.54	1.28	2.06	2.06	2.06
0.192	0.6	5.61	5.61	5.61	3.09	3.09	3.09	4.11	4.11	4.11
0.256	0.8	10.28	10.28	10.28	6.94	6.94	4.37	7.4	7.4	6.99
0.320	1	14.96	14.96	14.96	14.4	14.4	10.54	13.16	13.16	11.52
0.384	1.2	24.87	24.87	24.87	25.45	25.45	20.31	21.39	20.98	17.69
0.448	1.4	37.4	37.4	37.4	36.77	35.74	32.91	27.97	27.56	24.27
0.512	1.6	48.8	48.99	49.18	45.25	46.28	43.19	34.55	34.55	30.85
0.576	1.8	57.96	58.9	60.02	52.96	54.25	49.36	41.14	40.72	36.64
0.640	2	65.26	66.64	70.31	58.1	59.13	57.08	46.89	45.66	41.95
0.704	2.2	69.93	72.92	78.53	61.7	63.25	60.93	51.83	50.18	46.07
0.768	2.4	73.48	77.41	85.26	64.53	66.85	64.79	56.36	54.71	49.36
0.832	2.6	75.91	81.15	90.87	67.36	70.96	69.16	60.47	58.41	51.42
0.896	2.8	78.34	84.52	95.36	70.44	75.59	74.3	65.41	62.53	54.3
0.960	3	80.78	87.88	99.85	74.05	81.24	78.67	69.93	67.46	58
1.024	3.2	83.95	92.74	106.39	78.67	87.93	85.36	77.34	75.46	64.99
1.088	3.4	88.82	98.73	114.06	84.33	96.16	92.3	85.56	82.68	74.04
1.152	3.6	95.17	105.64	122.66	89.99	106.18	100.53	95.84	93.38	83.92
1.216	3.8	102.84	114.06	132.01	96.93	117.24	109.01	108.6	105.31	94.61
1.280	4	112.19	123.41	143.04	104.64	129	119.04	121.76	118.47	106.54
1.344	4.2	122.29	135.75	153.5	114.15	142.43	130.35	136.57	131.64	124
1.408	4.4	135.37	154.07	174	125.72	156	144.49	152.2	145.21	139.5
1.472	4.6	155.38	178.19	198.5	141.41	169.9	160	168.66	159.61	154.5
1.536	4.8	183.62	208.11	228	164.03	193	180	185.11	174.01	171
1.600	5	216.9	241.21	260	194.88	218.5	203	203.21	189.22	188

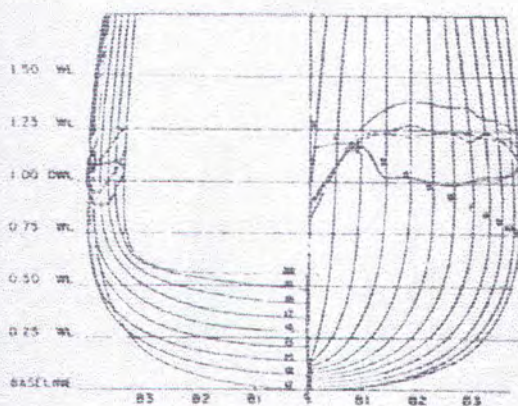
Residuary Resistance in Pounds per Ton Displacement					Cb 0.45					
disp/(0.01L) <sup>3</sup>		45			32.5			20		
B/T		2	3	4	2	3	4	2	3	4
F <sub>n</sub>	V(L) <sup>0.5</sup>									
0.064	0.2	0.91	0.91	0.91	0.95	0.95	0.95	1.54	1.54	1.54
0.128	0.4	2.51	2.51	2.51	2.85	2.53	2.22	3.08	2.57	3.08
0.192	0.6	5.26	5.48	5.26	5.7	5.06	4.11	6.17	5.14	6.17
0.256	0.8	9.6	10.51	9.83	8.23	7.91	6.64	8.74	7.2	9.26
0.320	1	14.85	17.14	13.71	11.08	10.76	11.08	11.31	9.77	12.86
0.384	1.2	27.65	27.65	24.91	18.67	18.67	18.67	15.43	13.37	13.37
0.448	1.4	40.22	40.22	38.16	27.53	27.53	27.53	20.05	17.48	17.48
0.512	1.6	50.28	51.42	47.76	34.81	34.81	34.81	24.17	21.6	22.11
0.576	1.8	59.42	60.1	54.85	41.14	41.14	41.14	27.25	24.68	27.25
0.640	2	68.33	66.5	61.02	47.46	47.76	47.46	29.82	28.8	31.88
0.704	2.2	73.59	71.53	67.42	42.43	52.53	52.53	32.39	32.91	35.48
0.768	2.4	77.24	75.67	74.04	46.96	56.64	56.32	34.45	35.99	38.05
0.832	2.6	79.99	79.76	80.44	60.75	60.12	60.44	35.99	38.05	40.11
0.896	2.8	82.27	83.64	86.61	64.24	63.29	64.55	38.05	40.11	42.68
0.960	3	84.56	88.21	93.01	67.4	66.77	69.93	40.11	42.16	46.28
1.024	3.2	90.5	93.7	99.18	70.25	71.51	75.94	43.19	47.31	50.91
1.088	3.4	98.27	101.47	106.5	74.68	78.47	83.22	47.82	52.96	57.08
1.152	3.6	107.41	110.38	115.18	82.27	86.7	91.45	55.02	59.65	64.28
1.216	3.8	118.38	120.66	125.69	90.82	96.51	102.21	63.76	68.9	73.53
1.280	4	129.81	131.64	137.12	101.26	107.9	113.92	73.53	79.7	84.33
1.344	4.2	141.69	143.98	149.23	112.3	120.56	126.89	85.36	92.04	96.67
1.408	4.4	154.26	157.46	162.94	124.99	134.17	140.5	98.73	105.93	111.07
1.472	4.6	167.97	171.4	177.57	138.28	148.41	155.05	113.64	121.35	128.04
1.536	4.8	181.68	186.25	192.88	152.2	162.96	170.56	130.61	138.83	145
1.600	5	196.31	202.02	209.34	166.13	178.47	186.69	148.09	157.34	163.52

Residuary Resistance in Pounds per Ton Displacement					Cb 0.35					
disp/(0.01L) <sup>3</sup>		35			25			15		
B/T		2	3	4	2	3	4	2	3	4
Fn	V/(L) <sup>0.5</sup>									
0.064	0.2	0.59	0.59	0.59	0.82	0.82	0.82	0.68	0.68	0.68
0.128	0.4	1.47	1.47	1.47	1.64	1.64	1.64	2.06	2.06	2.06
0.192	0.6	4.7	4.44	4.11	4.11	4.52	4.94	4.8	5.48	4.8
0.256	0.8	7.64	8.23	7.93	7.4	6.99	8.23	8.23	9.6	8.91
0.320	1	13.22	14.1	13.22	12.34	11.52	13.16	13.03	13.71	12.34
0.384	1.2	19.98	21.16	19.39	18.1	16.86	18.92	17.82	18.51	16.45
0.448	1.4	27.91	29.38	27.03	23.86	22.62	25.09	23.31	23.31	20.57
0.512	1.6	36.73	37.9	34.97	29.62	28.38	31.26	27.42	27.42	26.05
0.576	1.8	45.84	45.25	44.07	35.38	33.73	37.84	31.54	31.54	31.54
0.640	2	52.3	50.54	52.89	41.14	38.67	43.19	36.34	35.95	38.39
0.704	2.2	58.18	55.23	60.82	46.9	42.78	48.54	42.51	42.51	46.62
0.768	2.4	62.88	59.35	68.17	51.01	47.31	54.3	47.99	49.36	54.85
0.832	2.6	67.29	63.47	75.35	55.12	52.24	60.88	53.48	57.59	62.39
0.896	2.8	71.11	68.46	79.92	60.06	58	67.87	61.02	67.19	67.87
0.960	3	75.81	74.34	85.8	65.82	64.58	76.1	68.56	78.16	74.73
1.024	3.2	81.1	81.1	92.85	71.58	73.22	85.15	77.47	88.44	84.33
1.088	3.4	87.85	89.62	102.55	79.8	83.51	95.85	88.44	100.1	95.98
1.152	3.6	95.2	99.31	113.42	90.09	94.61	107.78	99.41	113.81	109.01
1.216	3.8	103.43	109.89	125.46	101.61	106.45	120.53	112.44	128.89	122.72
1.280	4	112.83	121.35	137.51	115.18	120.53	133.69	126.84	143.98	137.8
1.344	4.2	123.7	133.99	150.44	128.76	134.51	147.27	141.92	160.43	154.94
1.408	4.4	135.16	147.8	163.66	143.56	148.91	161.25	157.69	178.26	171.4
1.472	4.6	147.8	161.9	177.47	158.37	164.54	175.65	174.14	196.1	189.22
1.536	4.8	161.31	176	191.58	174	180.18	190.87	191.97	214.59	207.05
1.600	5	174.83	190.4	205.97	189.64	196.22	206.09	209.79	233.8	226.25

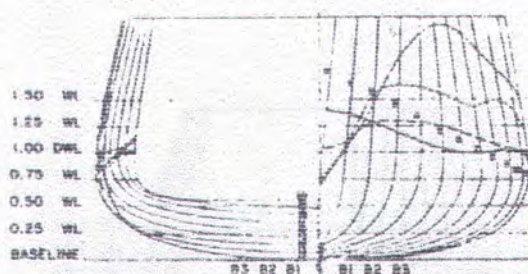


David Taylor Model Basin  
Series 84  
 $C_B = .53$   $C_D = .83$   $C_X = .873$   $\Delta/(1.01L)^3 = .98$

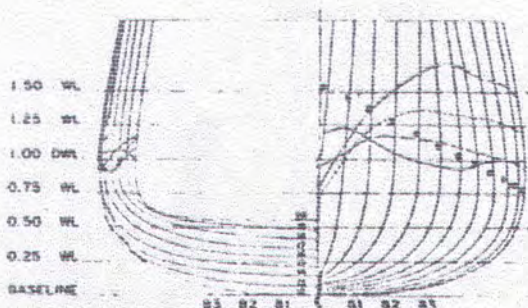
3 KNOTS ———  
6 KNOTS ———  
9 KNOTS - - - -  
12 KNOTS - - - -



Model 4787 B/R = 2



Model 4793 B/R = 4



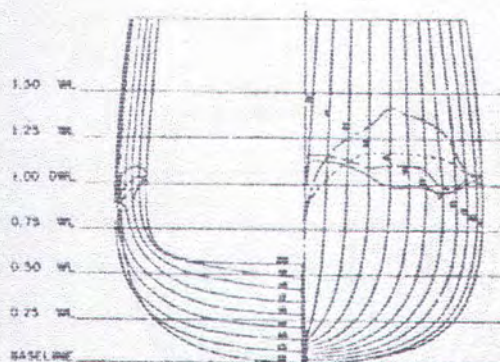
Model 4790 B/R = 3

Fig. 6

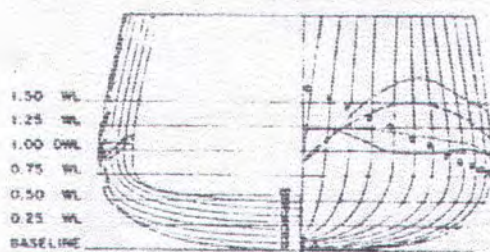
Figs. 6-14 Body plans and wave profiles

David Taylor Model Basin  
Series 84  
 $C_B = .55$   $C_D = .83$   $C_X = .873$   $\Delta/(1.01L)^3 = .98$

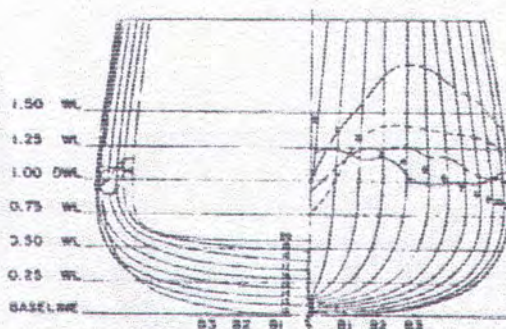
3 KNOTS ———  
6 KNOTS ———  
9 KNOTS - - - -  
12 KNOTS - - - -



Model 4788 B/R = 2



Model 4794 B/R = 4



Model 4791 B/R = 3

Fig. 7



David Taylor Model Basin  
 Series 64  
 $C_D = .55$   $C_P = .63$   $C_X = .873$   $\Delta / (.01 L)^3 = .25$

3 KNOTS  
 6 KNOTS  
 9 KNOTS  
 12 KNOTS

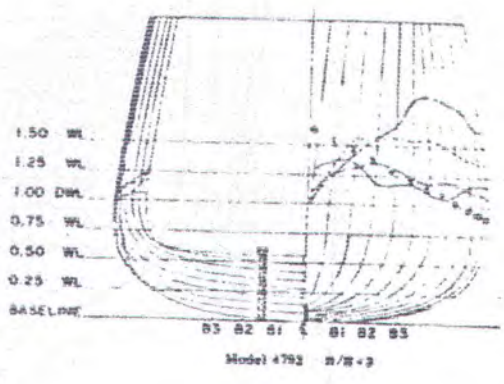
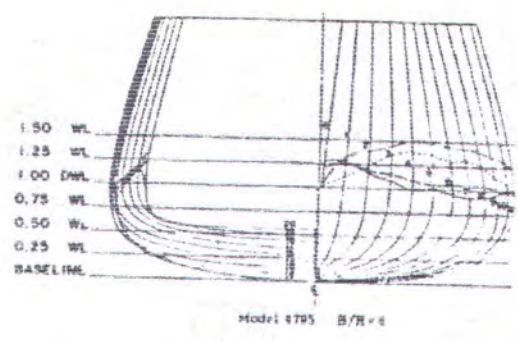
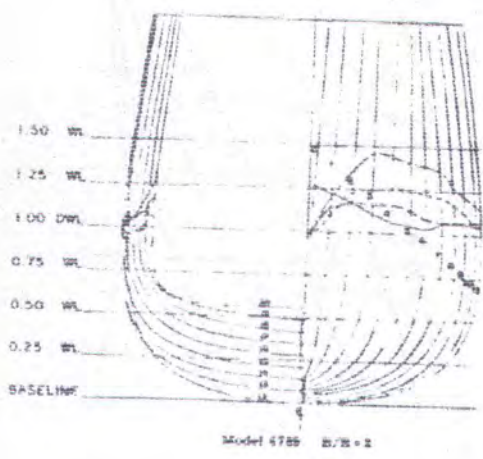


Fig. 8

David Taylor Model Basin  
 Series 64  
 $C_D = .55$   $C_P = .63$   $C_X = .716$   $\Delta / (.01 L)^3 = .45$

3 KNOTS  
 6 KNOTS  
 9 KNOTS  
 12 KNOTS

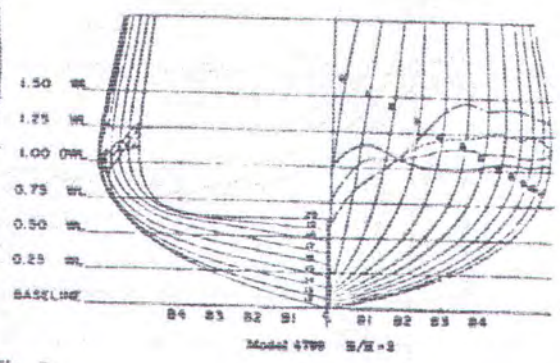
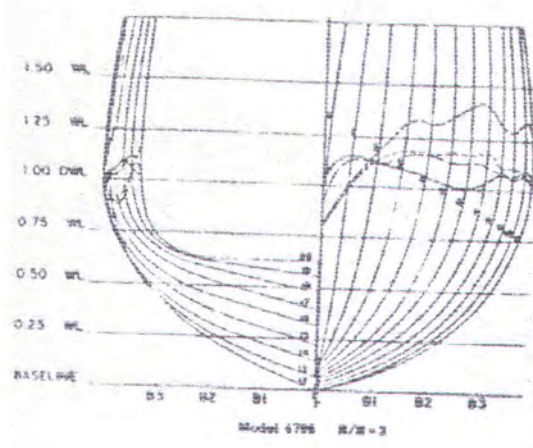
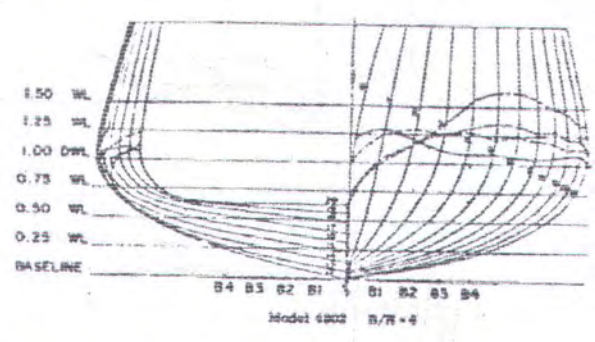


Fig. 2

David Taylor Model Basin  
 Series 84  
 $C_B = .25$   $C_P = .63$   $C_M = .325$   $\Delta/\sigma L^3 = .18$

3 KNOTS ———  
 6 KNOTS - - - - -  
 9 KNOTS ······  
 12 KNOTS ———

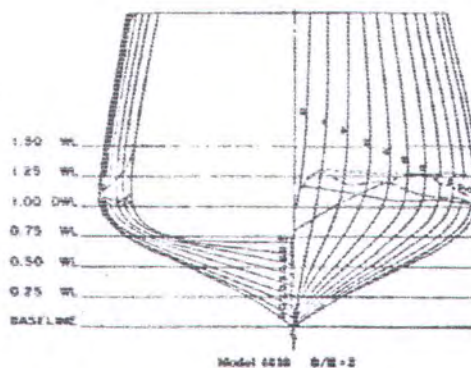
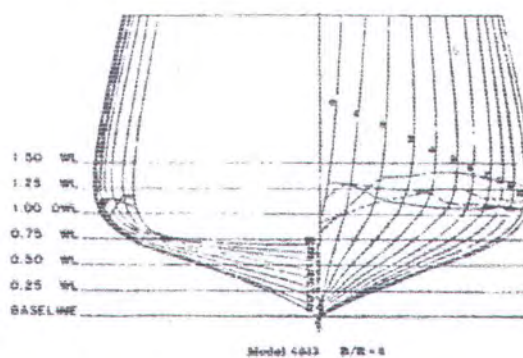
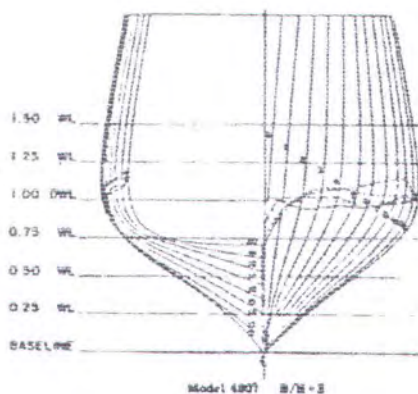


Fig. 14



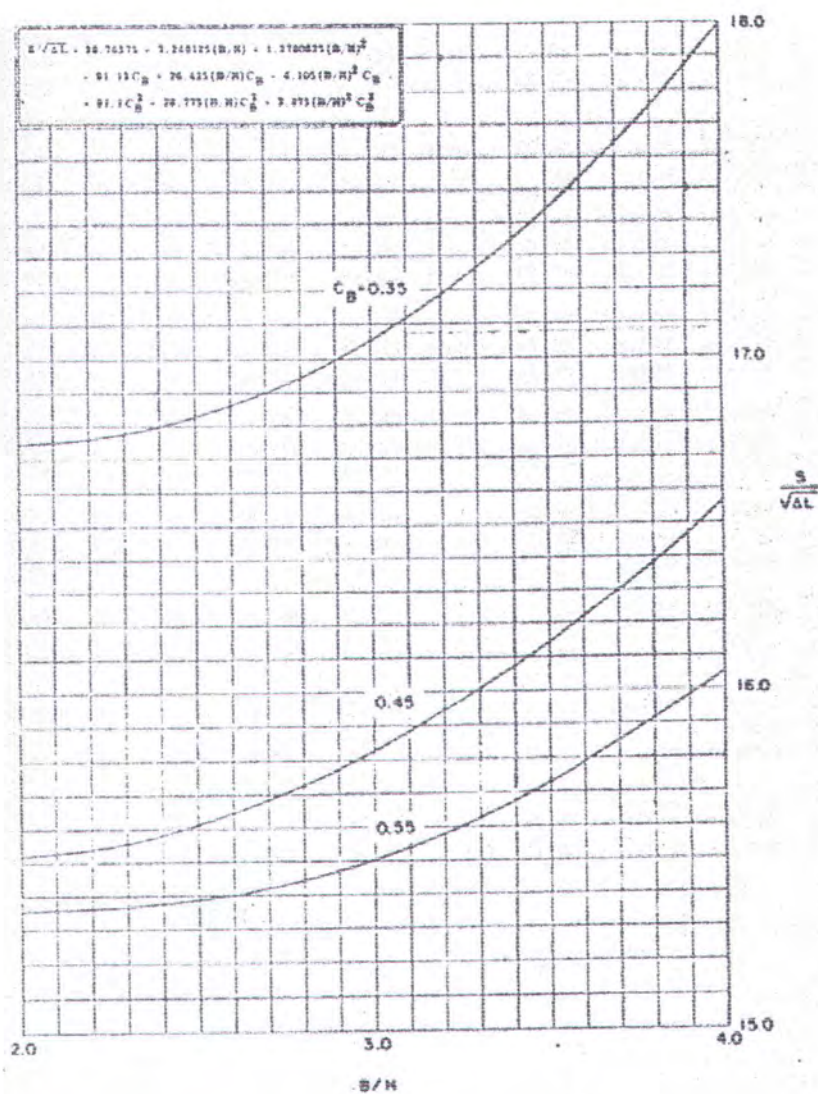


Fig. 30 Wetted-surface coefficients of Series 64 models

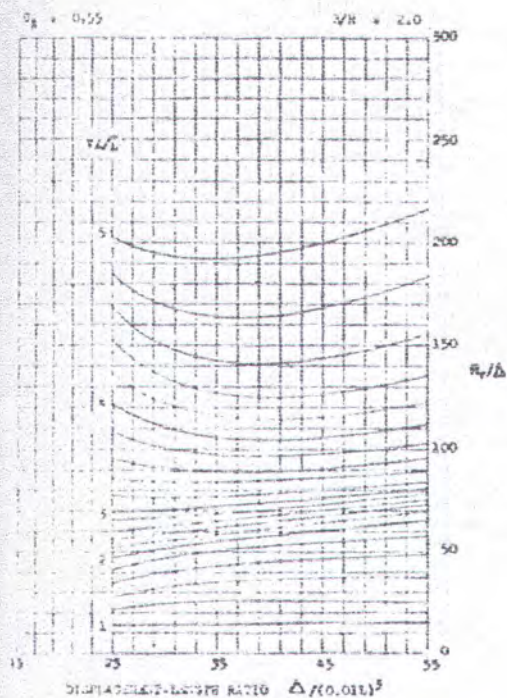
$C_B = 0.55$  $B/H = 2.0$ 

Fig. 15

Figs. 15-23 Contours of resistance in pounds per ton of displacement

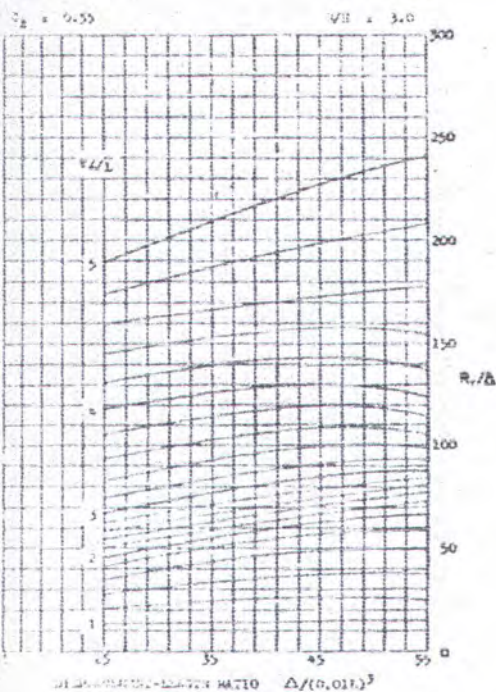
 $C_B = 0.55$  $B/H = 3.0$ 

Fig. 16

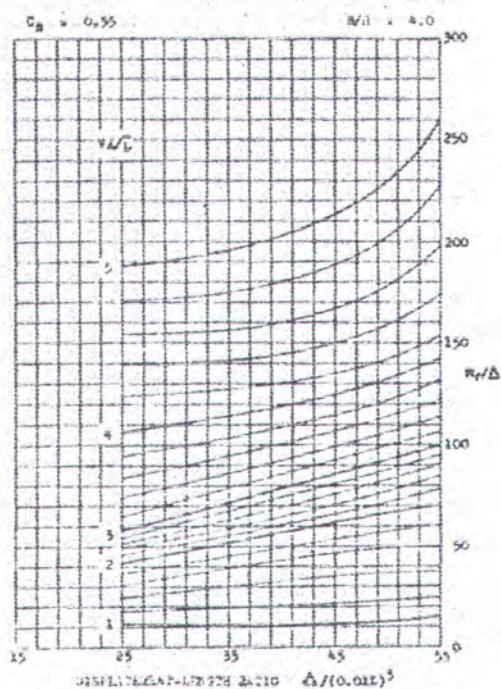
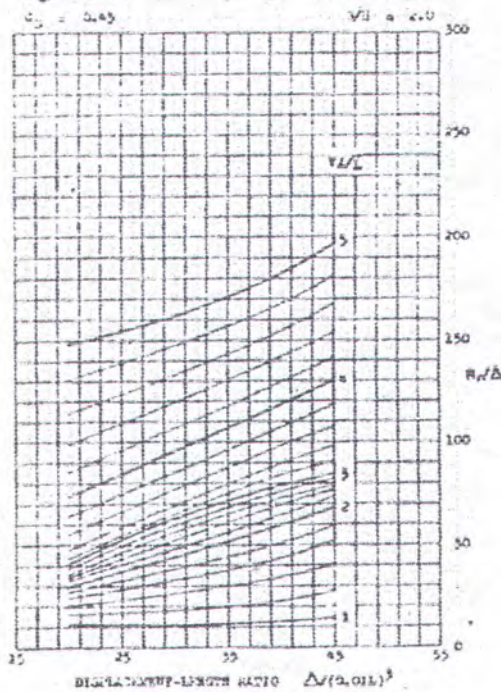
 $C_B = 0.55$  $B/H = 4.0$ 

Fig. 17

 $C_B = 0.45$  $B/H = 2.0$ 



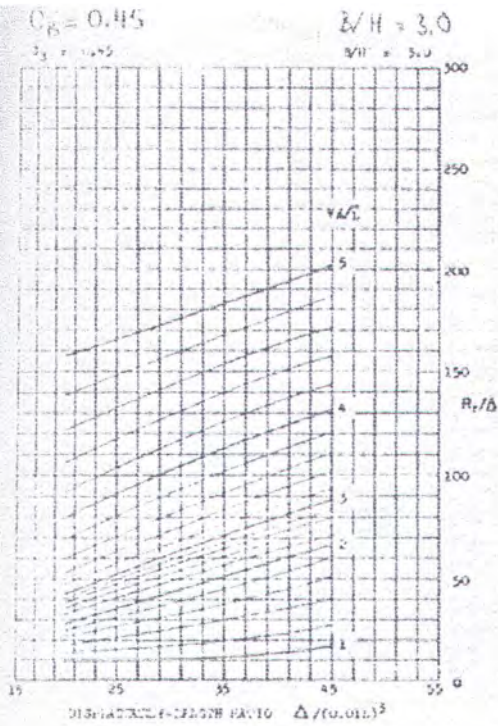


Fig. 19

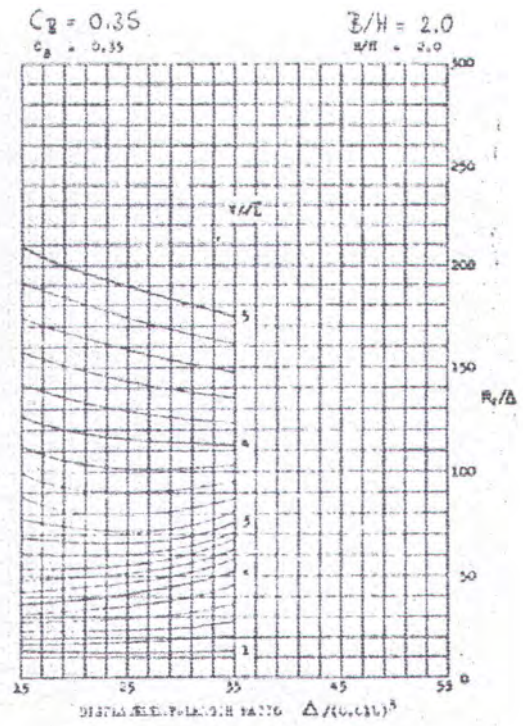


Fig. 21

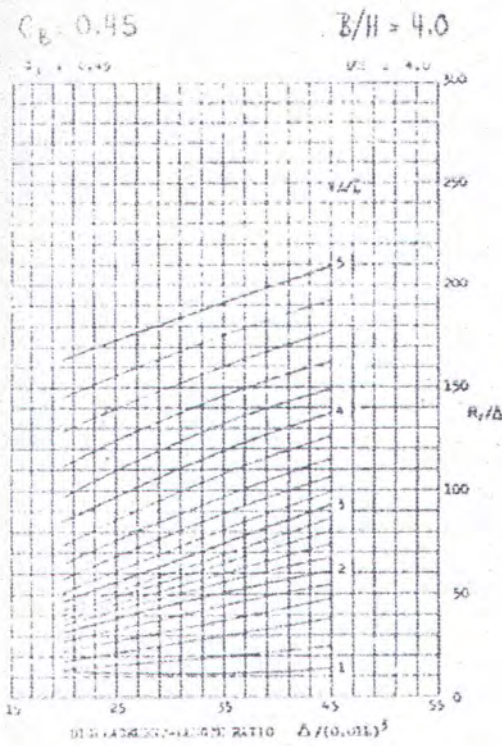


Fig. 20

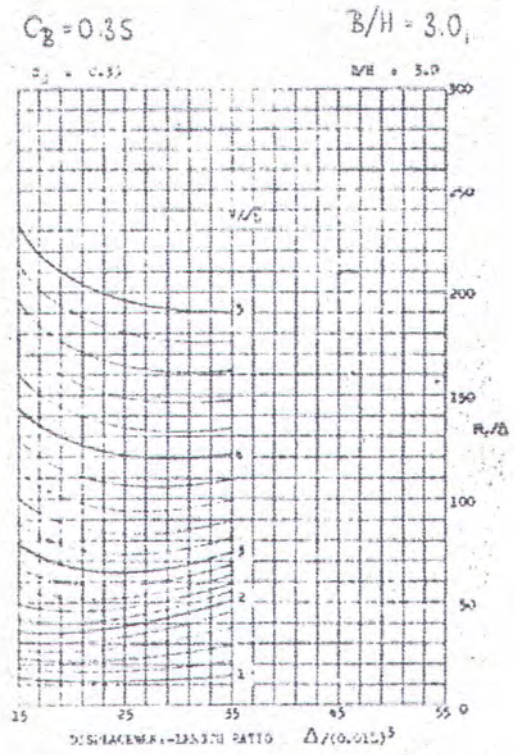


Fig. 22





